28

ENCICLOPEDIA IBEROAMERICANA DE FILOSOFÍA

Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas

Edición de
Anna Estany

Editorial Trotta

Consejo Superior de Investigaciones Científicas

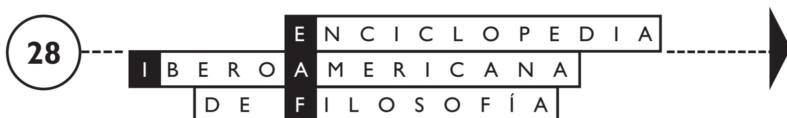


Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas

Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas

Edición de Anna Estany

Editorial Trotta
Consejo Superior de Investigaciones Científicas





Ferraz, 55. 28008 Madrid
Teléfono: 91 543 03 61
Fax: 91 543 14 88
E-mail: editorial@trotta.es
http://www.trotta.es

Departamento de Publicaciones
Vitruvio, 8. 28006 Madrid
Teléfono: 91 561 62 51
Fax: 91 561 48 51
E-mail: publ@orgc.csic.es

Diseño
Joaquín Gallego

ISBN: 978-84-8769-948-1 (Obra completa)
ISBN TROTTA (edición digital pdf): 978-84-9879-385-7 (vol. 28)
ISBN CSIC: 978-84-0008-326-7
NIPO: 653-05-068-8
Depósito Legal: M. 37.031-2005

Impresión
Fernández Ciudad, S.L.

La Enciclopedia IberoAmericana de Filosofía es un proyecto de investigación y edición, puesto en marcha por el Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid), el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Autónoma de México y el Centro de Investigaciones Filosóficas (Buenos Aires), y realizado por filósofos que tienen el español por instrumento lingüístico.

Existe una pujante y emprendedora comunidad filosófica hispanoparlante que carece, sin embargo, de una obra común que orqueste su plural riqueza y contribuya a su desarrollo. No se pretende aquí una enciclopedia de filosofía española, sino articular la contribución de la comunidad hispanoparlante a la filosofía, sea mediante el desarrollo cualificado de temas filosóficos universales, sea desentrañando la modalidad de la recepción a esos temas filosóficos en nuestro ámbito lingüístico.

La voluntad del equipo responsable de integrar a todas las comunidades filosóficas de nuestra área lingüística, buscando no sólo la interdisciplinariedad sino también la internacionalidad en el tratamiento de los temas, nos ha llevado a un modelo específico de obra colectiva. No se trata de un diccionario de conceptos filosóficos ni de una enciclopedia ordenada alfabéticamente, sino de una enciclopedia de temas monográficos selectos. La monografía temática permite un estudio diversificado, como diverso es el mundo de los filósofos que escriben en español.

Queremos dejar constancia del agradecimiento debido a quienes formaron parte del Comité Académico, haciendo posible este proyecto, y que han fallecido: Carlos Alchourrón, Ezequiel de Olaso, J. L. López Aranguren, Fernando Salmerón y Javier Sasso.

La Enciclopedia IberoAmericana de Filosofía es el resultado editorial de un Proyecto de Investigación financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia. Cuenta también con la ayuda de la Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

Anna Estany

El objetivo de este volumen es analizar los problemas filosófico-metodológicos que se plantean en las ciencias naturales, sociales y matemáticas. Aun a sabiendas de que cada una de estas ciencias podría ser objeto de un volumen completo, tiene sentido, y se ajusta a los objetivos de la Enciclopedia IberoAmericana de Filosofía, proporcionar un panorama de los principales debates filosóficos en los que las distintas disciplinas científicas están inmersas.

A lo largo de su historia la filosofía de la ciencia ha proporcionado unos modelos de ciencia comunes a todas las disciplinas y, de hecho, durante la primera mitad del siglo XX la filosofía de la ciencia se centró en las cuestiones generales; sin embargo, sobre todo en las últimas décadas ha habido un desarrollo muy importante de la filosofía de las ciencias particulares, sin que ello supusiera una reglas metodológicas independientes para cada disciplina.

Los dos primeros artículos versan sobre filosofía de la matemática y en ellos se da un panorama de las principales corrientes a lo largo del siglo XX y de los principales debates actuales. El hilo conductor de la filosofía de la matemática que mejor resume los debates durante el siglo XX es el problema de los fundamentos, problema heredado de épocas anteriores pero que es prioritario con el auge de la lógica matemática en el siglo XIX.

Javier de Lorenzo, en «Filosofías de la matemática: de fundamentaciones y construcciones», analiza los grandes intentos de fundamentación de la matemática (logicismo, intuicionismo brouweriano y formalismo finitista hilbertiano), su fracaso (la matemática se presentaba mucho más segura que los programas que pretendían fundamentarla) y su síntesis dialéctica (representada por los trabajos de

Abraham Robinson y de Lawvere, entre otros). En el último tercio del siglo XX decae la influencia formalista y la praxis matemática se orienta a la resolución de problemas, para lo cual tendrá gran influencia lo que De Lorenzo llama «el intruso», en referencia al ordenador. Esta situación ha provocado un renovado interés por el pensamiento matemático con un espectro importante de corrientes que De Lorenzo distingue, fundamentalmente, en tres: la representada por S. Feferman, que mantiene la necesidad del análisis lógico para una crítica conceptual del hacer matemático; la que se apoya en la teoría causal del conocimiento y que incluye el logicismo renovado, el estructuralismo logicista, el modalismo y el nominalismo; y el constructivismo de Bishop, que pretende dotar al hacer matemático de una significación numérica.

El artículo de José Ferreirós, «Certezas e hipótesis: perspectivas históricas y naturalistas sobre la matemática», se enmarca también en el debate sobre fundamentos pero centrado en los enfoques naturalistas en contraposición a los fundacionales. Ferreirós apuesta por el enfoque naturalista en el sentido de asignar un papel central al modo en que el conocimiento matemático se liga con el ser natural del hombre y con las bases biológicas o psicológicas de las matemáticas. Esta apuesta le lleva a asumir una parte de la concepción hipotética de las matemáticas frente a concepciones apriorísticas de la misma, a tener en cuenta la historicidad de la matemática y a considerar los aspectos culturales del desarrollo de la misma en contextos que no son los occidentales, pero todo ello sin caer ni asumir ninguna de las tesis fuertes del constructivismo social «a lo Bloor». Precisamente uno de los objetivos de Ferreirós es dar una alternativa en filosofía de la matemática que salga de la disyuntiva entre fundacionalismo y constructivismo social. Y esta vía va a tener un enfoque biocognitivo.

El otro bloque de artículos lo constituye el de filosofía de la física y, relacionado con él, el de filosofía de la cosmología. En la filosofía de la física se tratan el espacio y el tiempo (Roberto Torretti). Respecto a la cosmología, Víctor Rodríguez se centra en sus aspectos epistemológicos.

Roberto Torretti en «Espacio y tiempo en la física de Einstein» reflexiona sobre el pensamiento de este autor. Torretti parte de la física newtoniana, para la cual el movimiento consiste en el desplazamiento de los cuerpos en el espacio «absoluto, verdadero y matemático» en el curso del tiempo «absoluto, verdadero y matemático». A continuación hace un recorrido por la historia de la física, mostrando cómo se van eliminando el espacio y el tiempo absolutos de los conceptos fundamentales de esta ciencia. Así hace referencia a la «escala inercial del

tiempo» (Neumann 1870) y al «marco inercial de referencia» (Thomson 1884 y Lange 1885). Torretti también toma en consideración el trabajo de Minkowski, cuya geometría hizo posible formular de un modo simple y elegante la electrodinámica clásica. Aunque al principio Einstein no mirara a ésta con simpatía, hizo de su geometría y su espacio tiempo el cimiento y la sustancia de la teoría de la gravitación difundida bajo el nombre de «teoría general de la relatividad», que abarca la «teoría especial de la relatividad» como un caso límite.

Tanto la física newtoniana como la relativista y la cuántica implican una cosmología y el hecho de que ésta no puede separarse de la astronomía y de la física, aunque no cabe duda de que tiene su propia problemática, como nos muestra Víctor Rodríguez en «Aspectos epistemológicos de la cosmología contemporánea». Rodríguez da un panorama de la cosmología actual como el estudio de la estructura y evolución del universo a gran escala. Analiza los elementos para una imagen del cosmos, examinando tanto el modelo estándar (el de la gran explosión, *big bang*) como los modelos alternativos (modelos caóticos, de universo frío, de la luz cansada, etc.), haciendo hincapié en la relación de la cosmología con la física y con la astronomía. Una vez expuestos los principales modelos, se centra en las cuestiones epistemológicas, especialmente en las aportaciones desde la filosofía de la ciencia y en la relación (el [des]encuentro) entre filosofía y cosmología.

La clasificación de las disciplinas científicas siempre ha sido motivo de debate que nunca ha terminado en consenso. Sin embargo, se siguen usando distintas denominaciones ampliamente aceptadas en la comunidad científica. Una de estas denominaciones es la de las «ciencias de la Tierra», en alusión a disciplinas como la geología, la geografía, la oceanografía, la meteorología, la climatología, la aeronomía y aquellas partes de la física espacial y de la ciencia planetaria relacionadas con la Tierra (Good 1998*b*, 77), disciplinas sobre las que reflexiona Irina Podgorny en «La Tierra en el laboratorio: Las ciencias de la Tierra en el siglo XX». Podgorny, por un lado, se centra en la importancia del método, analizando la relación entre métodos universalistas e históricos, y señalando que el desarrollo de los instrumentos para datar, medir y registrar episodios y fenómenos remotos con precisión creciente, ha llevado a la posibilidad de estudiar la Tierra como un objeto de laboratorio y de observar «desde fuera» el planeta. Respecto a las geociencias se centra en los siguientes aspectos: el tiempo geológico, la tectónica de placas y el impacto de los meteoritos. Señala la segunda guerra mundial, el Año Geofísico Internacional y el lanzamiento del *Sputnik* como acontecimientos que influyeron en el

surgimiento, la enseñanza y la institucionalización de las ciencias de la Tierra. Desde la filosofía de la ciencia merece especial atención la reconstrucción que hace de la teoría de la deriva continental y la tectónica de placas, destacando la influencia de T. Kuhn en los propios geólogos, que tenían la sensación de haber experimentado una revolución análoga a la copernicana.

Otra de las grandes áreas es la denominada «ciencias de la vida», centradas en la biología y sobre cuya reflexión este volumen incluye varios artículos. Ramón Margalef, en «Retos de la ecología. Grandes líneas del funcionamiento de la cubierta viva del planeta», aborda las cuestiones que tiene planteadas la ecología, tanto en calidad de disciplina que describe los ecosistemas y sus características, como en cuanto ciencia que trata de sistematizar y explicar algunos principios generales que puedan ser útiles para orientar nuestras intervenciones en la naturaleza. En el trabajo se analiza lo que nuestra civilización ha supuesto sobre los sistemas ecológicos naturales y se apela a nuestro sentido de la responsabilidad para que sepamos conjugar la explotación de los recursos naturales y la conservación de los mismos, y así continuar contemplando los «procederes» admirables de la propia naturaleza.

Desde una perspectiva histórica no cabe duda de que Darwin marca un antes y un después en el desarrollo de las ciencias de la vida. Lo que representó la teoría de la evolución y las consecuencias que el desarrollo de la genética ha supuesto para dicha teoría es el tema del artículo de Magí Cadevall «La genética del desarrollo: ¿derribo o ampliación del darwinismo?». Cadevall analiza los principales retos que se han presentado en las últimas décadas al gradualismo y al adaptacionismo ortodoxo: la teoría del equilibrio interrumpido de Gould y Eldredge, la teoría de Margulis sobre la formación de los eucariotas por simbiosis y la moderna genética del desarrollo. La idea de Cadevall es que la genética del desarrollo obliga a modificar el gradualismo recibido de la teoría sintética de la evolución, pero estos cambios, aun siendo importantes, suponen una ampliación y no un derribo del darwinismo.

Mario Casanueva L. y Diego Méndez G. («Tres teorías y tres niveles en la genética del siglo XX») examinan las tres teorías genéticas que corresponden a los tres niveles ontológicos: individual (genética clásica o mendeliana), celular (genética cromosómica) y molecular (genética molecular). Aunque dichas teorías corresponden a estereotipos ahistóricos, no cabe duda de que muestran el desarrollo de la genética a modo de tres fotos fijas en tres periodos de tiempo distintos. Casanueva y Méndez reflexionan desde la ética sobre lo que pueden

suponer los últimos avances en genética molecular y su relación con la tecnología. Los últimos desarrollos de la genética molecular plantean una serie de cuestiones, por un lado, acerca de su relación con la genética mendeliana y con la cromosómica, y, por otro, de su relación con la física y con la química; en una palabra, el problema del reduccionismo en todas sus acepciones, tema central del siguiente capítulo.

Edna Suárez centra su artículo en las explicaciones reduccionistas en relación a la biología molecular («La biología molecular: el reto de formular explicaciones reduccionistas»). Suárez hace una reconstrucción histórica del debate sobre el reduccionismo que se llevó a cabo en el marco de un vasto proyecto cultural que encarnaba valores y expectativas acerca de la ciencia en la década de los años treinta. De aquí nace el giro determinista de la biología molecular con el proyecto de la Ciencia del Hombre, cuya idea fundamental es que los genes controlan la «maquinaria celular» y todo el desarrollo del organismo. Esto hacía pensar que podrían encontrarse explicaciones biológicas que, en última instancia, relacionarían causalmente los problemas sociales de inicios del siglo XX con fenómenos biológicos. Suárez considera especialmente valiosas las distinciones entre explicaciones reduccionistas y genetistas, por un lado, y entre reduccionismo y determinismo, por otro.

Feggy Ostrosky-Solís, en «Cerebro, mente y conducta en el siglo XXI: un universo dentro de nosotros», nos introduce en el conocimiento del cerebro y en cómo se pueden explicar fenómenos como el lenguaje, el reconocimiento del mundo, el pensamiento, la memoria, los sueños y la tristeza. Ostrosky-Solís señala que en el umbral del siglo XXI contamos con técnicas de neuroimagen que nos permiten entrar en el territorio de la mente, explorar el interior de los cerebros y estudiar su funcionamiento. También hace hincapié en las consecuencias que el conocimiento del cerebro tiene y va a tener para un mayor bienestar humano y pone el ejemplo de lo que puede suponer para enfermedades como el Alzheimer o el Parkinson y, en general, para las enfermedades mentales.

Anna Estany plantea el problema de la explicación científica en la psicología («Bases teóricas de la explicación científica en la psicología»). Estany aborda los problemas que la psicología tiene planteados desde las concepciones sobre la teoría científica y desde los modelos de explicación científica de la filosofía de la ciencia. A partir de aquí se aborda el objeto de estudio de la psicología, centrándose en la conciencia y dando una perspectiva histórica de su tratamiento. A continuación se afronta el problema del reduccionismo, examinando distintas posturas al respecto. Finalmente, se analiza las consecuencias de

que la psicología forme parte del programa interdisciplinar de las ciencias cognitivas.

Por último, llegamos a las ciencias sociales, denominación no exenta de polémica, sobre las que se plantean una serie de cuestiones generales a cargo de Antoni Domènech, y a continuación se encuentra una serie de artículos que abordan los problemas específicos de las diferentes ciencias sociales.

Antoni Domènech en «El eterno retorno de Calicles. (Sobre filosofía, relativismo y ciencias sociales)» presenta el «argumento de Calicles» como paradigma de relativismo y examina cómo el constructivismo social actual no es ni más ni menos que una recuperación de dicho argumento aunque en otros términos. Domènech disecciona el argumento de Calicles, analiza todas las consecuencias epistemológicas que tiene para las ciencias sociales y hace una crítica del mismo, a fin de que la objetividad, la verdad y la racionalidad sean los únicos criterios que guíen la investigación en dichas ciencias.

La economía es analizada por Juan Carlos García-Bermejo en «Formas diferentes de hacer y de entender la teoría económica: un panorama selectivo». Siguiendo con la tónica de otros artículos de este volumen, García-Bermejo ofrece un panorama (selectivo) de las concepciones de la teoría económica. Toma como punto de partida la síntesis neoclásica entre la micro y la macroeconomía, que constituyó la principal referencia de la época sobre la estructura y el contenido de la teoría económica. A continuación analiza la teoría del equilibrio general, considerada como la de mayor nivel técnico en el ámbito microeconómico. Finalmente, presenta una serie de modelos, en el sentido de ejemplos prototípicos, tales como los modelos de la economía de la información, modelos de estructura de juegos no cooperativos y modelos de ciclos reales.

Carlos Lozares trata de «La sociología y sus modelos matemáticos». El artículo gira en torno a la relación de la sociología con las matemáticas. En primer lugar, hace un breve recorrido histórico por el papel de las matemáticas en la sociología, por el concepto de modelo matemático y las distintas posiciones y corrientes que se han dado en sociología respecto de esta relación. En segundo lugar, analiza los nuevos retos y modelos para la sociología matemática, desde la teoría de juegos hasta los modelos logísticos. Finalmente, aborda el impacto que las ciencias cognitivas han tenido en la sociología, en especial la simulación de comportamientos humanos con la ayuda de programas de ordenador.

Esteban Krotz («La antropología: ciencia de la alteridad») reflexiona sobre el nacimiento de la antropología científica como un pro-

ceso de «cientifización» de la pregunta por la diversidad cultural, analizada bajo la perspectiva de la «alteridad», categoría que se convierte en central para la antropología. Krotz hace un repaso de las distintas etapas por las que ha pasado la antropología desde el rechazo del evolucionismo decimonónico que provocó el surgimiento de tres escuelas: la histórico-cultural alemana, la antropología norteamericana y el modelo estructural-funcionalista. El final de la segunda guerra mundial y el inicio de la guerra fría significaron una nueva etapa para la antropología con la recuperación del interés por la evolución y el pensamiento marxista. Llegamos así a la situación actual marcada por el tema de «la cultura y la identidad» y las antropologías periféricas.

El artículo de María Teresa Cabré y Mercè Lorente, como muy bien indica su título, «Panorama de los paradigmas en lingüística», analiza las diferentes etapas por las que ha pasado la explicación del lenguaje y sus aplicaciones. A partir de la idea de paradigma de Kuhn, Cabré y Lorente presentan las orientaciones de la lingüística actual en tres grandes líneas programáticas: la «lingüística formal», que incluye desde el modelo evolucionado de la gramática generativa de Chomsky hasta los modelos aplicados en la lingüística computacional actual; la «lingüística funcionalista», que abarca modelos lingüísticos que integran la vertiente social y comunicativa del lenguaje; y, por último, la «lingüística cognitiva», integradora de diversas iniciativas programáticas que abogan por una alternativa psicolingüística al paradigma generativo dominante. El desarrollo de la lingüística a lo largo de los dos últimos siglos nos muestra los debates a los cuales se han enfrentado las diferentes escuelas y los lazos e influencias de la filosofía, de la psicología y, finalmente, de las ciencias cognitivas que engloban a todas ellas.

Alfredo López Austin, en «Retos de hoy a la filosofía de la historia», hace un repaso de la relación de la historia con otros ámbitos del saber, confrontando distintos posicionamientos respecto a dicha relación. Así, analiza la confluencia de la filosofía y la historia, la sucesión de corrientes históricas a través del tiempo, la coexistencia de culturas en el mundo actual y la relación de la historia con la antropología. Centrándose ya más específicamente en el papel y lugar de la historia en el marco de la ciencia, López Austin plantea una serie de cuestiones respecto al propio significado de la palabra «historia»: por un lado, un conjunto de procesos que inciden en las sociedades; por otro, la percepción y registro de dichos procesos. Ello le lleva a plantear en qué consiste la objetividad histórica, contrapuesta a la relatividad producida por la diversidad cultural. Termina señalando una serie de funciones de la historia en un mundo en plena transformación.

FILOSOFÍAS DE LA MATEMÁTICA: DE FUNDAMENTACIONES Y CONSTRUCCIONES

Javier de Lorenzo

1. VARIACIONES FUNDACIONALES A LO LARGO DEL SIGLO XX

1.1. *Los grandes intentos de fundamentación...*

A fines del siglo XIX se produce una inversión epistemológica en el hacer matemático con un cambio radical en el mismo: del objeto geométrico y el estudio de sus propiedades, de las ecuaciones diferencial o algebraica y su resolución, el matemático pasa a considerar sistemas o conjuntos como punto de partida y, desde ahí, a manejar objetos y conceptos de segundo nivel como estructuras, espacios, morfismos entre estructuras, etc. El continuo se discretiza y de imagen geométrica identificada con segmento rectilíneo pasa a enfocarse como un conjunto de elementos separados, discretos, con entidad ontológica propia, y no como símbolos de posiciones sobre ese segmento rectilíneo. Esta inversión obliga a crear nuevos mecanismos de definición y de demostración a la vez que conduce a la búsqueda de un lenguaje ideográfico apto para expresar el contenido de pensamiento puro que se desarrolla en la nueva praxis matemática. Es una inversión que —retomando la expresión de D'Alembert, de Lazare Carnot— conduce a una nueva «metafísica» del hacer matemático porque al producirse un cambio de marco en dicho hacer ese cambio exige nuevos enfoques para justificarlo.

Es problemática que lleva a los matemáticos a discutir el papel de las nuevas demostraciones —de carácter existencial no constructivo básicamente— así como el de las nuevas definiciones —si apoyadas en la biyección dan paso a las definiciones por abstracción, si en postulados, a la definición axiomática—, y, por supuesto, a plantear el estatuto ontológico de los objetos y conceptos matemáticos a los cuales

se llega desde el dato previo de sistemas o conjuntos constituidos por elementos cuya naturaleza no importa.

En los primeros años del siglo XX los matemáticos discutieron en torno al axioma de elección, las demostraciones existenciales no constructivas, el papel del lenguaje ideográfico, etc. En general, en esas discusiones, el trabajador matemático adoptó una posición pragmática, aceptando la existencia de conjuntos numerables y buscando a partir de las demostraciones previas existenciales procesos constructivos para las mismas. Pero, en frase de Lebesgue, intervinieron los filósofos y los matemáticos se retiraron de la escena.

Esos filósofos, y algunos matemáticos de tendencia más bien lógica, se centraron en discutir la naturaleza del número, el estatuto de la noción de clase o conjunto, el papel de la lógica..., y los de tendencia lógica, en general, trataron de dar una base a la nueva metafísica que identificaron con la búsqueda de un fundamento definitivo y último del hacer matemático tomando como centro de discusión la aritmética. Así, Husserl crea la *fenomenología* como instrumento básico para fundamentar la aritmética y, en paralelo, Frege crea una gran lógica —que terminará adoptándose como *la* lógica— con el mismo objetivo. Esa línea de fundamentación suponía en el fondo, y desde el plano ontológico, que los objetos matemáticos están dados ya, en esencia se considera un hacer eidético clausurado que el matemático ha de ir descubriendo.

Un intento de fundamentos pretendidamente definitivos que encuentra en el *logicismo* fregeano una de sus líneas más clara y sistemáticamente programadas. Como finalidad, elaborar una gran lógica no sólo formal sintáctica sino con un claro contenido ontológico; desde ella, el hacer matemático quedaría definitivamente fundamentado porque no sería más que lógica pura. Es una línea a la que se sumará Russell, que resume el programa en las palabras con las que inicia *Los principios de la matemática* en 1903:

> [...] toda la matemática pura trabaja exclusivamente con conceptos definibles en función de un número muy pequeño de conceptos lógicos fundamentales, y de que todas las proposiciones se pueden deducir de un número muy pequeño de principios lógicos fundamentales [...] (Russell, 1948, 20).

El logicismo se acaba enfrentando con serios problemas para constituirse en auténtica fundamentación de la matemática al tener que aceptar «principios fundamentales no lógicos» —existencia de un conjunto infinito, el de reducibilidad al enfrentarse al continuo—, las paradojas, la caracterización de la noción de «forma lógica», etcétera.

Junto a la fenomenología y el logicismo, y en los primeros años del siglo XX, se sitúan básicamente los filósofos neokantianos tanto de la Escuela de Marburgo como de la de Baden —Natorp, Cassirer, Cohn, después Becker—, holandeses como Mannoury, franceses como Pierre Boutroux, pero también matemáticos como Poincaré o los incluidos en la denominada escuela semi-intuicionista francesa —Borel, Lebesgue, Baire, etc.—. Los neokantianos mantienen la idea de un uso constructivo de la razón pura y frente a una vuelta a Leibniz —de Russell, Couturat— mantienen una vuelta a Kant. Desde esta posición se hace imprescindible el uso de la intuición para la práctica matemática que no queda reducida a ningún tipo de lógica, ni siquiera al lenguaje pasigráfico que desarrolla Frege e independientemente Peano. Un término, intuición, utilizado con significados muy diferentes por los distintos autores que no elaboran enfoques sistemáticos de tipo logicista o fenomenológico y realizan análisis conceptuales que son, sin embargo, realmente interesantes para el pensamiento matemático.

Tras un periodo de polémicas muy vivas entre 1905 y 1910 —y que dan como resultado en 1908 la teoría de tipos de Russell, la axiomatización de la teoría de conjuntos de Zermelo, la noción de matemática predicativa de Poincaré y que a partir de 1910 culminan en la obra cumbre *Principia Mathematica* de Russell-Whitehead— se produce un periodo de relativa calma en cuanto a las discusiones acerca de los fundamentos de la matemática aunque no de los estudios filosóficos sobre el pensamiento matemático, continuados básicamente por los filósofos neokantianos. Calma que romperá Hermann Weyl en 1921 al publicar su soflama con la afirmación de la existencia de una crisis en los fundamentos de la matemática y su convicción de ser necesaria una revolución al estilo bolchevique en el hacer matemático, revolución intuicionista encabezada por Brouwer.

Desde una posición radical, Weyl y Brouwer intentan dar forma al *intuicionismo* planteándolo como auténtico fundamento, definitivo, del hacer matemático. Para ello, y en la dialéctica continuo-discreto, se pretende captar la noción clave del continuo aunque, curiosamente, aceptando también su discretización. Frente a la idea de Weyl de manejar por modo exclusivo los números naturales y sus sucesiones apoyadas en la inducción completa para caracterizar el continuo con un enfoque de matemática predicativa a lo Poincaré, Brouwer intenta definir los números reales, el continuo, mediante la noción de sucesiones de libre elección. Recogiendo la noción de número real computable de Borel, desde estas sucesiones de libre elección Brouwer intenta reconstruir el análisis de variable real. En este desarrollo toda función es continua, lo cual implica suprimir gran parte del análisis de varia-

ble real elaborado desde el hacer global —con sus funciones teratológicas en el decir de Hermite—, lo mismo que se eliminan todas las teorías que manejen el infinito actual y, a la vez, toda la aritmética transfinita cantoriana. En paralelo, se considera la lógica como subordinada al hacer matemático en el sentido de que manifiesta, por modo exclusivo, las regularidades que se observan en dicha praxis, que es, por consiguiente, anterior; se realiza una auténtica crítica a las consideradas «leyes del pensamiento», especialmente al principio de contradicción y, con ello, a las demostraciones de carácter existencial que se apoyan, básicamente, en dicho principio.

A pesar de los intentos de Brouwer, su intuicionismo permaneció en los primeros años más como proyecto que como realidad en la pragmática del hacer matemático además de constituir, realmente, un anatema a una matemática que se desarrollaba en el nuevo marco de manera excepcional. El mismo Brouwer había hecho uso de esa matemática global en sus trabajos sobre topología y su teorema del punto fijo, por ejemplo, difícilmente puede traducirse a un enfoque estrictamente intuicionista. Para colmo, los desarrollos de la escuela soviética —Kolmogorov, Glivenko, etc.— y, sobre todo, de Heyting se centraron en lo que más molestaba a Brouwer, en la lógica y sus aspectos formales, plasmando tanto un cálculo de problemas como una lógica proposicional intuicionista. El intuicionismo quedaba como programa o se reducía a alguna forma de formalismo...

En inmediata respuesta a la soflama de Weyl, de 1921, y con el mismo título incluso, Hilbert se enfrentará de modo frontal al intuicionismo brouweriano y, tratando de mantener la solidez del estado matemático clásico, desarrollará a partir de 1922 un programa estrictamente finitista para fundamentar, también de una vez y para siempre, el hacer matemático. Un programa —*programa de Hilbert*— que adopta un punto de partida parecido al del neokantiano Cohn. Frente al manejo abstracto de las extensiones de los conceptos que muestran dificultades como las paradojas y las demostraciones existenciales, a Hilbert se le muestra necesario aceptar la existencia de ciertos objetos extralógicos discretos, susceptibles de ser captados por la intuición de un modo global en todas sus partes, así como captar su distinción y sucesión. Objeto extralógico que es el signo. Signo concreto y captable en su totalidad, aunque su forma sea independiente del espacio y el tiempo, constituye para Hilbert el punto de partida, la única idea filosófica mínima, para fundamentar, comprender y comunicar todo pensamiento, sea o no matemático. Signo concreto al que se agrega la capacidad reiterativa desde la cual se desarrollan la matemática y la lógica, que se le muestran independientes entre sí.

Desde este punto mínimo como base —en el principio fue el signo— y aceptando como dato la matemática existente, Hilbert la escinde en dos: una parte real, finitista, apoyada en el signo concreto y en los razonamientos finitistas constructivos sin manejo de cuantificadores, parte real que se le muestra como básica y aceptable por todos los matemáticos, y el resto, que se le muestra como una matemática ideal que debe ser primero axiomatizada y posteriormente formalizada. Una matemática ideal en la cual aparecen unos elementos que se le presentan a Hilbert como principios regulativos del pensamiento y entre los cuales hay que incluir los números complejos —que permiten regular la matemática de variable real hasta el extremo de que para resolver problemas reales hay que pasar por el terreno complejo—, los puntos y rectas ideales que dan paso a la geometría proyectiva completando mediante principios como el de dualidad la geometría clásica, la noción de infinito actual con su secuela de números transfinitos y que conduce al paraíso creado por Cantor.

Axiomatizadas y posteriormente formalizadas esas matemáticas ideales, las distintas teorías de la misma se convierten en sistemas formales y de estos sistemas formales es de los que cabe plantear unas cuestiones, metamatemáticas, centradas básicamente en su consistencia, completitud, decidibilidad. Cuestiones cuya respuesta debe realizarse por medios demostrativos matemáticos estrictamente finitistas, propios de la matemática real, para que se pueda afirmar que se tiene una fundamentación, ya definitiva, del hacer matemático. Programa *formalista* que, frente al intuicionismo, se hará más radicalmente finitista a pesar de que en ningún momento se precisa a qué llamar matemática finitista.

Convienen unas precisiones. Desde el enfoque hilbertiano la lógica pasa a tener un doble papel: por una parte, constituir el lenguaje pasigráfico en el que expresar las fórmulas y teorías matemáticas y, por otra, convertirse en un sistema formal más, sistema que Hilbert y su escuela escinden en diferentes niveles: lógica proposicional, de primer orden, segundo, etc. Y, tan importante como lo anterior, esta línea de trabajo se realiza, para Hilbert, en el terreno exclusivo de la fundamentación rigurosa de la matemática y no en el terreno del trabajador práctico matemático: para Hilbert éste requiere de la intuición concreta, incluso de la imaginación visual, y no debe quedar anclado en la superstición de que la matemática no es más que un hacer malabarista con números. Desde esa intuición el matemático capta el cómo y el por qué funcionan las demostraciones o argumentos analíticos (Hilbert 1952).

Tratando de desarrollar y completar el programa de Hilbert, los teoremas de limitación de los sistemas formales —los dos de Gödel, los de Tarski, el de Church-Turing, la paradoja de Skolem, etc.— mostraron que aquellos sistemas formales que fueran mínimamente interesantes —en el sentido de que, al menos, contuvieran la aritmética— no podían ser, a la vez, axiomatizables, completos, consistentes, mientras que la misma lógica de primer orden —como sistema formal y no ya como lenguaje en el que expresar la matemática y, básicamente desde Skolem, caracterizar la noción «propiedad bien definida»— se demostraba indecidible.

1.2. *... y su fracaso...*

Los intentos de una fundamentación definitiva del hacer matemático —que de manera tópica se centran en los tres apuntados: logicismo, intuicionismo brouweriano, formalismo finitista hilbertiano, marginando los trabajos de Husserl y de los neokantianos, entre otros— mostraron de modo sucesivo que la matemática se presentaba mucho más segura que cualquier programa para fundamentarla y asegurarla y, por otro lado, parecían dar la razón a Lebesgue, a Poincaré, en el sentido de que los análisis lógicos y los filosóficos acerca de la matemática carecían de relación alguna con la práctica real matemática. Irónicamente se llegó a la conclusión de que la matemática no está fundamentada sobre sus pretendidos fundamentos.

Ello provocó, a partir de los años treinta, una cierta atonía y desconfianza en cuanto al terreno de la filosofía de la matemática, al menos en cuanto a la búsqueda de una fundamentación definitiva del hacer total matemático, intento de fundamentación que se vio como una ilusión de carácter simbólico más que conceptual. Atonía y abandono contrapuestos al espectacular desarrollo que el hacer matemático mostraba a lo largo del siglo XX. Una vez más se planteaba la ruptura entre el trabajador matemático y quien, desde un análisis pretendidamente apoyado en la lógica formal, pretendía dar normas de seguridad a lo que ese trabajador realizaba.

Con una matización, desconfianza en cuanto a los enfoques puramente lógicos, que no filosóficos, históricos, genéticos, epistemológicos, etc., de ese hacer. Y ello porque los enfoques lógicos ponen el acento tanto en el plano ontológico, como en un pretendido rigor demostrativo y, básicamente, en la estructura organizativa de los sistemas formales, en lo que calificar de «teoría», como si ésta ya estuviera radicalmente finalizada. Con lo cual deja a un lado lo constructivo, la resolución de problemas y los planos de analogía formal tan queri-

dos para la praxis matemática. Una separación ya establecida por Hilbert en 1898 con sus dos planos genético y de fundamentos y asumida por el Círculo de Viena con los contextos de descubrimiento y de justificación. Y, por otro lado, desde los enfoques lógicos se pone el acento básicamente en la aritmética, con esa superstición del número y el abandono de nociones básicas como las estructurales, geométricas, topológicas en general que se muestran esenciales en la praxis matemática del siglo XX.

Separación entre praxis y enfoques fundacionalistas lógicos y, sin embargo, esa praxis se desarrolla en el interior de un marco ideológico, el propio del hacer global, marco ideológico al que antes califiqué de «metafísica» de ese hacer y que no es otra que su apoyo en el paraíso cantoriano conjuntista unido con la técnica hilbertiana del método axiomático. Pero método axiomático entendido no como elemento fundacional sino como herramienta conceptual para la caracterización de los objetos matemáticos. Naturalmente objetos de segundo nivel en el sentido de que la definición axiomática o por postulados caracteriza estructuras, teorías y no elementos individuales. Metafísica que propició que uno de los objetivos del hacer matemático fuera precisamente producir teorías más que resolver problemas. En la praxis matemática, y dentro de este cuadro ideológico, se hace preponderante, desde los años cincuenta, una influencia formalista que viene representada, básicamente, por Nicolás Bourbaki. Formalismo al que se agrega, desde el enfoque ontológico, un cierto realismo que algunos calificarán de platonismo.

1.3. ... *pero con síntesis dialéctica*

En enfoque dialéctico, se advierte que en el interior de esta praxis el desarrollo de las propias teorías conduce a dos logros: por un lado, esta metafísica constituye un enfoque unitario que permite pasar de unas disciplinas a otras; por otro, ha posibilitado resolver algunas de las conjeturas más antiguas y que hasta entonces quedaban en el aire.

A la vez, y desde el interior de ese marco, se van a desarrollar elementos que permiten romper con el mismo y, simultáneamente, con la «metafísica» que lo subtiende. Así, en la década de los años sesenta la demostración de la independencia de la hipótesis del continuo abre la puerta a teorías de conjuntos que se muestran alternativas a la cantoriana; Abraham Robinson publica sus trabajos con la construcción de modelos no-canónicos de los números reales y da paso al análisis no-estándar con la reintroducción de los infinitésimos, ahora no ya como elementos ideales o ficciones útiles sino como unos

objetos más del hacer matemático; Lawvere desarrolla la teoría de categorías de manera que la transforma de lenguaje formal para expresar cálculos complejos donde estructuras algebraicas se asocian a espacios topológicos o geométricos, asociación compatible con las transformaciones de base pertinentes, a teoría sobre la que fundamentar, incluso, la matemática y convierte la teoría de categorías en auténtica alternativa a la teoría cantoriana de conjuntos, aunque siga manejando la misma técnica hilbertiana axiomática...

Son algunos elementos que propician una ruptura interna al posibilitar discutir la metafísica o el marco ideológico cantoriano-hilbertiano en el que se había desarrollado la praxis matemática, a la vez que señalan que la idea de una fundamentación en ese marco conjuntista es tan sólo una de las posibles opciones para realizar dicha fundamentación. Con la convicción, desde la propia praxis matemática, de que se hace inviable el objetivo de la misma. A la vez se da paso a una crítica a los elementos ontológicos que se asocian a este marco, el realismo platónico, así como a discutir el papel de la lógica como elemento clave para la praxis matemática, básicamente con el desarrollo de lógicas alternativas, especialmente la intuicionista y la delimitación del papel de principios como el del tercero excluido. Y esto último debería llevar al posible logicista a la problemática por la elección de cuál de las diferentes lógicas puede ser la que fundamente más sólidamente el hacer matemático si es que hay alguna que lo haga. En el fondo, la escisión en diferentes lógicas plantea la cuestión de que son esas diferentes lógicas, precisamente, las que requieren de una posible fundamentación.

No debo olvidar, aquí, un hecho. Todo lo anterior se encuadra, realmente, en una de las imágenes que se han desarrollado en torno al hacer matemático del siglo XX. En ella, y en cuanto al problema de los fundamentos, sólo se mencionan las tendencias logicista, intuicionista, formalista como las grandes escuelas de pensamiento según he indicado antes. Lo cual es inexacto y olvida a todos los que se preocuparon por el pensamiento matemático desde otros enfoques. Lo mismo ocurre con el formalismo de tipo bourbakista que predomina, como si fuera único, en la escena de los años cincuenta en adelante especialmente en los ámbitos universitarios. Esa imagen propicia igualmente la de una profunda escisión entre la matemática, como si estuviera encerrada en una torre de marfil, y las restantes disciplinas especialmente las físicas. Una imagen que olvida el trabajo de matemáticos como von Neumann, Norbert Wiener, el mismo Turing, los de la escuela soviética..., quienes como matemáticos trabajaron también en terrenos de ordenadores, biología, economía, física, etc. No

todo era, en la praxis matemática, tan formal bourbakista, a pesar de esa imagen tan permanentemente narrada.

2. EL «INTRUSO», LA TEORÍA CAUSAL DEL CONOCIMIENTO... Y SUS RESPUESTAS EN EL ÚLTIMO TERCIO DEL SIGLO XX

A partir de los años setenta decae la influencia formalista y la praxis matemática se orienta por derroteros distintos: en lugar de centrarse en el desarrollo de teorías formales apoyadas en su consistencia, el hacer matemático se vuelca, y es una vuelta o una constante más bien, por lo indicado en el párrafo anterior, a la resolución de problemas. Un momento en el que, por otro lado, surge el intruso, el ordenador. Intruso que obliga a modificaciones sustanciales en el aspecto epistemológico. Pero también en el terreno metodológico donde, por ejemplo, se plantea como problemática la noción de «demostración matemática», noción conflictiva porque a pesar de los enfoques formalistas y logicistas, no queda englobada en la de derivación sintáctica: una consecuencia de los teoremas de limitación. Problemática a la que se agrega la de las demostraciones de «longitud» inabarcable o la de aquellas que se hacen por empleo directo de analogías físicas.

Es tema al que se añaden dos cuestiones: la social-pedagógica que llevó a renovaciones en la enseñanza —con la denominada «matemática moderna»— en función de la guerra fría y el dominio del espacio, y la más epistemológica con el desarrollo de modelos de simulación que obligan a potenciar el enfoque algorítmico o computacional, una potenciación de los medios de aproximación para lograr modelos de «todos» los fenómenos de la *physis*. Lo que ha provocado, a la vez, un nuevo giro en cuanto al papel de la física en el hacer matemático: en éste se obtienen resultados no por el mecanismo de la demostración formal, sino por su apoyatura directa en nociones de la física —como el teorema de Donaldson o las «demostraciones» de Borchards que se apoyan en la teoría de cuerdas y las simetrías físicas—. Y la pregunta que permanece en el aire es la de si cabe aceptar tales «demostraciones» como demostraciones.

Incorporación del ordenador no sólo para facilitar los cálculos o sustituir o ayudar a demostrar teoremas, sino para obtener aplicaciones valiosas de la matemática sin olvidar que es desde la matemática desde la que se han dado herramientas para el funcionamiento de ese ordenador: desde la matemática se han desarrollado métodos de transmisión y almacenamiento de información, a través de la criptografía, la codificación; desde la matemática se ha puesto de relieve la noción

de función recursiva, la de computabilidad, y se ha intentado precisar la noción de algoritmo.

El intruso ha hecho que se produzca una vuelta a los métodos numéricos, al manejo de ecuaciones en diferencias en lugar de ecuaciones en diferenciales continuas, a transformadas finitas de Fourier... y, sobre todo, al desarrollo tanto de programas como de algoritmos de computación para simular los diferentes fenómenos de la *physis*. Con lo cual al *programa Fourier* —centrado en el manejo de ecuaciones diferenciales continuas, bien lineales, bien en derivadas parciales con sus problemas de condiciones iniciales y de contorno respectivamente— para expresar el comportamiento de sistemas dinámicos de tipo mecanicista le ha reemplazado el *programa Lions*, donde lo que se hace es manejar modelos para simular y representar cualquier tipo de fenómenos. Modelos apoyados en el manejo del ordenador y que posibilitan incluso una experimentación virtual de los artefactos a construir.

Son factores que, junto a la ruptura dialéctica ya señalada, han llevado a algunos matemáticos y pensadores a replantear el papel del hacer matemático en cuanto al conocimiento y, sobre todo, a replantear una serie de problemas epistémicos y metodológicos clave para el pensamiento. Si el programa Fourier era básicamente reduccionista en el sentido de que el todo venía dado por sus partes, ahora se plantea el proceso inverso: ir de las partes al todo, lo cual obliga a cuestionar los problemas de la emergencia y, sobre todo, de la organización de lo complejo y sus diferentes niveles.

Una situación que ha provocado un renovado interés desde los años setenta por el pensamiento matemático. Por un lado, entre filósofos de distinto cariz que mantienen enfoques históricos, genéticos, antropológicos, etc.; por otro, desde ámbitos lógicos se vuelve a enfoques fundacionistas y, desde una teoría causal del conocimiento, a posiciones logicistas, estructuralistas, nominalistas, constructivistas, etc., pero ahora no ya con la pretensión reflejada en el optimismo epistemológico de Hilbert de lograr una fundamentación definitiva sino de búsqueda de fundamentos parciales, por así decir. Dejando a un lado los enfoques más puramente propios de los matemáticos así como los de historicistas, genéticos, epistemólogos o los denominados naturalistas (véase, *infra*, el artículo de Ferreirós, pp. 45-73), voy a dar un breve esquema de los que han mantenido un intento de fundamentación de la matemática con la salvedad ya apuntada. Líneas que escindo, básicamente, en tres: *a*) la que tiene en Feferman su representante más válido y mantiene la necesidad del análisis lógico para una crítica conceptual del hacer matemático; *b*) la que se apoya en la epistemología y la teoría causal del conocimiento para discutir

la existencia o no de los objetos matemáticos y donde incluyo el logicismo renovado —con Boolos, Wright, etc.—, el estructuralismo logicista, el modalismo y sus variedades, el nominalismo; *c*) la que pretende dotar al hacer matemático de una significación numérica que se veía marginada en dicho hacer a expensas del difuso formalismo bourbakista, y que no es otra que la que se encuadra en el término, muy difuso, de constructivismo; de todas las tendencias que se acogen bajo este rótulo me limito a mencionar el constructivismo de Bishop, que se pretende con un marcado acento matemático.

2.1. *El análisis lógico al servicio del trabajador matemático*

Aceptando como punto de partida lo bien fundado de la desconfianza hacia cualquier análisis lógico que se pretenda fundamento definitivo del hacer matemático, Solomon Feferman cree, sin embargo, que dicho análisis lógico sigue teniendo un papel esencial. Evidentemente, no para dar el fundamento definitivo sino, más modesto, para intentar realizar un análisis crítico del hacer matemático. Análisis conceptual desde el cual se intenta responder a dos tipos de preguntas de muy diferente alcance. En primer lugar, y con carácter más bien modesto, a ésta: «¿Qué hace que los conceptos y métodos de la matemática posean un campo distintivo de conocimiento?», y el análisis lógico se le muestra apropiado para obtener las características del lenguaje y las verificacionales —las demostraciones— del hacer matemático y con ello poner de relieve lo que caracteriza a esos conceptos y les hace poseer ese pretendido carácter distintivo en el terreno epistémico. Feferman escinde las investigaciones fundacionales en terrenos como los siguientes: *clarificación conceptual*, en el sentido de que a partir de conceptos bien comprendidos se intentan establecer definiciones precisas de otros conceptos que en la praxis matemática se manejan de modo informal, no claramente delimitados; *interpretación de conceptos y principios problemáticos*: reducir algunos conceptos a otros más manejables como se hizo con los números complejos al reducirlos a pares de números reales; *reemplazar conceptos y principios problemáticos o eliminarlos*, como en el caso de los números infinitesimales en el análisis matemático clásico; *fundamentar métodos y resultados problemáticos*, es decir, hallar las condiciones suficientes, aunque en general no necesarias, bajo las cuales son aplicables unos métodos o para los cuales se siguen unos resultados; *organización fundacional* o búsqueda de axiomáticas propias para cada una de las teorías construidas; *expansión reflexiva de conceptos y principios*, que supone una actividad reflexiva como la que llevó a

conceptos como los de n-tupla y espacio n-dimensional, actividad reflexiva que supone aceptar que, en ocasiones, se trabaja con conceptos dados pero también, y a la vez, con conceptos implícitos que el análisis lógico posibilita explicitar...

Sin embargo, para Feferman la cuestión más conflictiva —pero la más interesante, evidentemente— en los terrenos del análisis lógico, aunque sin la pretensión de una visión global, se centra en la siguiente pregunta: «¿Cuál es la naturaleza del contenido conceptual de la matemática?».

Feferman se dice de acuerdo con el constructivismo en cuanto a la existencia de una fuente subjetiva de las concepciones básicas de la matemática. Pero reconoce la existencia de que esas concepciones obligan a la admisión de mundos ideales incluyendo algunos que no se obtienen constructivamente —al estilo de los mundos de conjuntos platónicos—. Mundos que se presentan más o menos directamente a la imaginación, a partir de la cual se derivan los principios básicos mediante su análisis.

Es una concepción, ciertamente, que trata de unir la idea de que el hacer matemático supone un proceso constructivo con la intuición que todo matemático tiene de que hay formas que están ahí, independientes de su propia construcción; de que los objetos matemáticos, como diría Bourbaki o más reciente Borchards, poseen una realidad más real que los objetos materiales que nos rodean. La concepción de Feferman, ciertamente, la que pretende responder a su segunda pregunta, la auténticamente conflictiva como él mismo afirma, queda todavía muy en el aire, como reconoce el mismo autor, del que cabe esperar más concreción en el futuro.

Al aceptar que los fundamentos de la matemática se centran en el estudio de los conceptos más básicos y de la estructura de la matemática como un todo, y en paralelo al manejo del análisis lógico de Feferman, se ha elaborado un programa de carácter básicamente matemático y que se centra en la *reverse mathematics*. Un programa fundacional que trata de descubrir qué axiomas de existencia se requieren para la demostración de teoremas conocidos en campos como el álgebra, análisis, geometría, combinatoria, etc. Y lo que se ha obtenido es que un gran número de teoremas quedan englobados en un número relativamente pequeño de clases de equivalencia con respecto a equivalencias demostrables sobre una teoría de base débil. Estas clases de equivalencia parecen mostrar el reflejo, cada una, de alguno de los programas fundacionistas clásicos.

Los sistemas axiomáticos empleados son subsistemas débiles de la aritmética de segundo orden donde los modelos más naturales son ω-

modelos, modelos donde los números naturales canónicos forman la parte de primer orden. Para demostrar que un teorema T no es demostrable en un subsistema S, se construye un ω-modelo en el cual los axiomas de S son verdaderos pero no el teorema T. Con lo cual lo que realmente se analiza es la fuerza de un teorema matemático probando resultados equivalentes en subsistemas de la aritmética de segundo orden.

A este programa se ha unido la teoría de la computabilidad porque da un terreno útil para la construcción de los ω-modelos, y por ello se ha tomado últimamente esta teoría como uno de los campos más apropiados para desarrollar el programa de *reverse mathematics* a pesar de la hostilidad radical que han mostrado algunos matemáticos para el desarrollo del mismo en los terrenos de la recursión, especialmente Robert Soare.

El programa *reverse mathematics* fue planteado especialmente por H. Friedman y seguido, entre otros, por G. Simpson, pero como enfoque metodológico, sin olvidar que también ha sido cultivado por Feferman. Claramente no es programa de fundamentaciones al estilo clásico sino un programa metodológico de trabajo muy interesante en el sentido de ver hasta dónde llega la aplicación efectiva de unos u otros axiomas para abarcar unos u otros teoremas, explicitando las suposiciones existenciales que, a veces, quedan ocultas. Es una línea de trabajo que recuerda, en cierta manera, la escisión en los teoremas que requieren el axioma de elección y aquellos teoremas o partes de la matemática que no lo requieren. Como vía de fundamentos o de carácter filosófico no es, ciertamente, la más adecuada y entra en la parte del programa de Feferman mencionado en su primer punto.

2.2. *Lógicos y filósofos con sus problemas ontológicos y epistemológicos: algunas respuestas*

En terreno más clásico filosófico y en paralelo a la crítica contra el realismo platónico lanzado desde un cierto formalismo por A. Robinson y desde el materialismo dialéctico por Lawvere, Benacerraf se liga a una teoría causal del conocimiento con el mismo objetivo. En 1963 Edmund Gettier señaló que no bastan las tres condiciones clásicas platónicas para decir que un sujeto *S* conozca que la proposición *p* es verdadera y planteó, de inmediato, la de agregar la condición o las condiciones para dar cuenta de que un sujeto *S* acepte una proposición *p* —evidente y verdadera— pero conociendo que *p* es verdadera. En 1967 Alvin Goldman agrega una cuarta condición y es la de que la proposición *p* esté causalmente conectada de manera «apropiada» con la creencia de *S* de que *p*. Desde ese momento es lo que se

conoce como *teoría causal del conocimiento*. Una variante epistémica obliga a que la conexión causal entre lo conocido y quien conoce sea una conexión causal material.

En 1973 Steiner y Benacerraf, de modo independiente entre sí, adoptan la teoría causal material del conocimiento para llegar a dos conclusiones diferentes: Steiner mantiene un cierto platonismo de los objetos matemáticos, Benacerraf plantea un dilema, el dilema de Benacerraf, por el cual es el platonismo el que se viene abajo. El dilema se plantea en los siguientes términos:

a) Por un lado, se admite que las proposiciones matemáticas son verdaderas, pero la verdad exige referencia, es decir, exige la existencia de objetos de los cuales se predique esa verdad. De aquí que la verdad de las proposiciones matemáticas conlleva la existencia de objetos matemáticos; y algo más, si los números existen, existen en todo mundo posible, existen con necesidad. Pero si existen objetos matemáticos, como los números, hay que buscar candidatos de existencia, es decir, hay que localizar esos objetos. Claramente, no hay partículas materiales suficientes en el universo para ser, cada una, el referente de un número natural, por ejemplo. Tampoco hay estados mentales en número suficiente. La verdad matemática exige que existan objetos y en cantidad infinita, por lo cual esos objetos no pueden ser empíricos ni mentales, ni tienen una localización espacio-temporal, de aquí que han de ser objetos abstractos.

b) Si se acepta ahora una teoría causal material del conocimiento, resulta que para que éste exista tiene que haber una interrelación material entre el objeto a conocer y el sujeto cognoscente; tiene que haber un intercambio de *bits* de información, por decirlo así. Ahora bien, los objetos matemáticos habitan un universo no-espacial-no-temporal, habitan un universo abstracto por lo cual ni emiten ni absorben energía; no pueden intercambiar *bits* de información con ningún agente que pretenda conocerlos. De unos seres inertes pocos *bits* de información pueden esperarse. No hay posibilidad alguna, por ello, de obtener conocimiento de esos objetos matemáticos.

Como consecuencia de estos dos puntos —los objetos matemáticos existen como objetos abstractos, la teoría epistémica adoptada es la causal—, se llega al *dilema de Benacerraf* de modo inmediato:

> Lo que parece necesario para la verdad en la matemática hace imposible el conocimiento de esa verdad; lo que haría posible el conocimiento matemático hace imposible la verdad del mismo.

En particular, si el realismo eidético platónico es verdadero, no se tiene conocimiento de la matemática; si se supone que tenemos co-

nocimiento de la matemática, entonces el realismo eidético platónico ha de ser falso. El matemático queda en un plano de estricta ignorancia o queda obligado al silencio absoluto si se acepta la posición platónica. Como a Benacerraf, entre otros, le parece que los matemáticos hablan, aunque quizá no sepan la verdad de lo que hablan, y además lo que dicen parece mostrarse indispensable para el conocimiento científico, la conclusión es que debe ser rechazado el realismo platónico como posición ontológica de la matemática.

El dilema de Benacerraf supuso un auténtico desafío para algunos pensadores del mundo anglosajón especialmente. Pensadores que se escindieron en dos bloques: el de aquellos que prefieren asegurar la verdad del hacer matemático y se ven obligados a aceptar el conjunto de objetos abstractos como dato primario y han de dejar a un lado cómo se alcanza el conocimiento de esos objetos y, con ello, la verdad de las proposiciones matemáticas; y el de aquellos que prefieren asegurar el terreno epistemológico aun dejando como problema el estatuto ontológico de los objetos matemáticos. Curiosamente la mayoría de quienes se alinean en cada uno de los dos bloques acepta el dilema sin entrar en las dificultades que presenta una teoría epistémica como la causal material y que la hacen, realmente, cuestionable por no decir insostenible si se plantea la naturaleza de lo inobservable pero cognoscible, como con los elementos básicos de la física, por ejemplo.

Como salidas, se tienen la de quienes tratan de mantener un logicismo fregeano renovado, la de quienes eliminan los objetos matemáticos enfocándolos como posiciones en estructuras —corriente estructuralista— o introducen factores modales como el modalismo o el modalismo-estructuralista de Hellman, o la de quienes admiten que no hay referencia semántica alguna, por lo cual se tiene un nominalismo al estilo formalista o, más radical, a lo Field.

Logicismo renovado. El programa logicista enunciado por Frege se encontró con la dificultad básica de su compromiso ontológico: admitir la extensión de conceptos, clave para su axioma V, axioma que se encontraba en el centro de las antinomias. El mismo Frege reconoció que el intento de fundamentar la aritmética en su gran lógica suponía la previa aceptación de las extensiones o conjuntos como apoyatura inicial y, por consiguiente, que la posición logicista encerraba, en el fondo, un círculo vicioso y, de aquí, su abandono del logicismo aunque no de la idea de una fundamentación de la matemática apoyada, en sus últimos años, en la intuición geométrica. Una vuelta a Frege, y desde la perspectiva del dilema de Benacerraf, ha implicado la afirmación de que el logicismo fregeano es aceptable si se

modifica de modo conveniente, especialmente si se precisa lo que desde Boolos se ha denominado *principio de Hume* y que no es otro que el manejo de la definición por abstracción que está contenida en el axioma V de Frege:

> Para conceptos F y G cualesquiera, el número de los F es idéntico con el número de los G si y sólo si F y G están en correspondencia biyectiva.

Si se realiza el cierre universal de esa expresión se alcanza lo que desde Boolos se denomina *teorema de Frege*, que es la afirmación de que la teoría de segundo orden, con el principio de Hume, constituye una extensión definicional (o por mera definición) que contiene la aritmética de Peano. Naturalmente las definiciones por abstracción no se muestran analíticas en el sentido fregeano de proceder derivativamente de las leyes de la lógica, en este caso de segundo orden. Hay, en ellas, un carácter estipulativo que gobierna el concepto de número sin dar una definición explícita de los números individuales o de la sucesión de los mismos. Ello implica un cierto grado de convencionalismo que condiciona la pretendida objetividad de los números que se generan mediante estas definiciones, además de caer bajo la crítica de Quine de que la lógica de segundo orden no es más que la teoría de conjuntos vestida con piel de cordero.

Wright pretende superar estas críticas manteniendo la existencia de dos niveles en nuestro conocimiento: por un lado, el de la verdad del principio de Hume, por otro, el de la existencia de números. Además para Wright los objetos abstractos no son creaciones del espíritu introducidas mediante cualquier principio estipulativo. Lo que se crea o forma mediante la abstracción es un concepto, y principios como el de Hume lo que hacen es fijar las condiciones de las proposiciones de identidad que tratan con un nuevo tipo de cosas, lo que se le muestra diferente a si las condiciones de verdad están o no realizadas. La existencia de números es descubierta más que estipulada y el conocimiento *a priori* de su existencia necesaria se deriva, en última instancia, del principio de Hume. Wright acepta un platonismo en el cual los números son objetos y los principios de abstracción dan las condiciones estipulativas para el conocimiento de las condiciones de identidad de los mismos. Ahora bien, si la verdad de una abstracción es una materia estipulativa, entonces la existencia de un dominio va a depender de qué tipo de abstracción se haya manejado, por lo que dicha existencia parece que depende, en última instancia, de una decisión arbitraria, etcétera.

En paralelo a Wright, pero intentando superar críticas como las del último párrafo, Boolos admite un logicismo renovado en el cual no se requiere establecer clases o colecciones para que las proposiciones de segundo orden sean inteligibles. Para ello, establece un mecanismo de traducción al lenguaje ordinario manejando cuantificadores pero sin compromiso ontológico alguno, traducción en la cual intenta suprimir cualquier referencia a pluralidades. Así, la lógica de segundo orden no compromete con la existencia de conjuntos y, por tanto, se puede fundamentar en ella toda la matemática sin cometer círculo vicioso alguno: no hay posibilidad de hablar de objetos matemáticos porque no existen como tales; son, como mantenía Frege, meros objetos lógicos.

Evidentemente se puede realizar cualquier intento de traducir al lenguaje ordinario las expresiones de segundo orden de manera que aparentemente se eviten los compromisos ontológicos. Boolos pretende una técnica nominalizadora de la lógica de segundo orden con eliminación de entidades abstractas y aunque intenta una traducción de este tipo no puede evitar el manejo de cuantificadores de predicado en la lógica de segundo orden, con lo cual no consigue resolver el objetivo de eliminar el problema ontológico central en su filosofía de la matemática. Y ello porque hay proposiciones, a su pesar, que hacen un uso esencial de dicha cuantificación. Por otro lado, se vuelve a plantear el viejo problema de Poincaré: hay que fundamentar los mecanismos de inducción completa y en la elaboración de la lógica de segundo orden estos mecanismos se utilizan de manera esencial.

Como salida a críticas de este tipo, el *condicionalismo* ya sugerido por Russell. Una salida, el deductivismo condicional, que muestra una vacuidad absoluta, además de tener que demostrar la consistencia de los axiomas, más o menos *ad hoc*, que se tomen como premisas. Y los teoremas de limitación marcan una cota definitiva a salidas de este tipo.

Estructuralismo. Tratando de eliminar los objetos de la matemática en el sentido de que el matemático no maneja los mismos sino básicamente estructuras, y partiendo de una pretendida praxis matemática en la cual lo que se maneja son teorías o sistemas ya plenamente clausurados, surge una corriente que pretende dar una fundamentación al hacer matemático, la estructuralista. Acepta, como puntos de partida, los tres siguientes, ya enunciados, entre otros, por Benacerraf:

1) Los axiomas que caracterizan una teoría poseen infinitos modelos. De aquí la definición por postulados o axiomática no es unívoca, no determina de manera única los elementos que pretende ca-

racterizar. Tampoco hay criterios explícitos de cómo elegir uno, de entre todos los modelos, como privilegiado, como la teoría canónica.

2) Los conceptos matemáticos pueden ser definidos de múltiples formas. Así, los números reales fueron caracterizados por tres vías diferentes o, con otro ejemplo, un número como 9 se caracteriza de manera distinta en la teoría de conjuntos de Zermelo y en la de von Neumann. Y la pregunta, inmediata: esos conceptos, ¿son el mismo?

3) Si el matemático maneja sistemas axiomáticos y distintos modelos de los mismos, si maneja conceptos definidos de maneras diferentes pero al final los considera como el mismo, se plantea la pregunta de cómo adquiere la creencia y seguridad matemática, el dominio de los procesos con los que actúa y que parecen dar objetos y conceptos diferentes que sin embargo, no se sabe muy bien por qué, los considera iguales. Una adquisición que parece conllevar una intuición eidética, quizá sensorial, una interactuación causal material, etcétera.

Cuestiones que plantean dos problemas diferentes: las dos primeras, el problema ontológico acerca de la naturaleza del objeto que maneja el matemático —si objetos, teorías, modelos, conceptos, estructuras, etc.—. La tercera, el problema epistemológico de cómo se alcanza el conocimiento de esos elementos matemáticos y si la teoría causal tiene algo que ver en el asunto.

El estructuralismo lógico trata de responder a estas cuestiones en los dos planos. En el ontológico, admite que la referencia a objetos matemáticos se hace, siempre, en el contexto de alguna estructura subyacente, por lo cual esos objetos no poseen estructura interna alguna sino en relación con la posición que ocupan en una estructura o *pattern* dada:

> Que 13 es un número primo no viene determinado por alguna propiedad interna de 13 sino más bien por su lugar en la estructura de los números naturales (1981, 529),

afirmará Resnik —se supone que aceptando la numeración decimal, las propiedades de la divisibilidad, etc.—. Además, los objetos no tienen más propiedades que las que pueden ser expresadas en términos de las relaciones básicas de la estructura.

El estructuralismo mantiene que la matemática es una ciencia de *patterns*, estructuras, y los elementos u objetos matemáticos aparecen, simplemente, como posiciones en dichas estructuras. Con lo cual pretende eliminar los objetos matemáticos y, de ahí, el término de *estructuralismo eliminativo* que algunos le han dado. En lo ontológico constituye una posición ambigua: por un lado hacen confesión de fe

de eliminar los objetos matemáticos como entidades singulares, con sus rasgos de identidad propios, pero, por otro, se aceptan los mismos y en dos aspectos: esos objetos que no existen aparecen como posiciones en las estructuras y, además, es el propio *pattern* el que se muestra como objeto en el que situar los objetos no existentes como individuos. En el fondo, no dan cuenta de que los matemáticos manejan objetos de diferentes niveles: desde la figura concreta en geometría, la ecuación diferencial en cálculo, la función concreta en análisis, etc., a estructuras como las algebraicas o a sistemas de estructuras como cuando se pretende demostrar el teorema de los grupos finitos simples. En cada ocasión el matemático se encuentra en un nivel objetual diferente. Y esto es lo que tendría que dar cuenta el estructuralismo eliminativo, algo que no hace. En su lugar adopta una posición, como Resnik, claramente platónica al admitir la existencia de los objetos matemáticos, independientes de sujeto cognoscente alguno y de su vida mental, causalmente inertes y sin estar naturalizados en parte alguna. Bien entendido que esos objetos, para Resnik, son las estructuras o *patterns* que, por supuesto, han de ser manejadas en un lenguaje de segundo orden.

Aceptadas las estructuras como entidades hay que establecer cuándo son isomorfas, cuándo una estructura posee una ocurrencia en otra, etc. Un trabajo en el que junto a Resnik ha contribuido decisivamente Shapiro. Ello ha conducido a una cierta indefinición, ya que al manejar la lógica de segundo orden la cuantificación se realiza sobre entidades que son, precisamente, conjuntos. Y la noción de conjunto es la que no aparece caracterizada por parte alguna: se adopta la metafísica del hacer global, sin más. Con la consecuencia, explicitada por Resnik en 1988, de que

> se puede indicar que justamente no podemos dar descripciones ni completas ni categóricas de las estructuras matemáticas más ricas.

Honestidad aparte, implica la admisión de limitaciones en este enfoque estructuralista de carácter fundamentalista lógico. Limitaciones que, desde el hacer matemático en sí, habían quedado superadas años antes con la formulación y desarrollo de la teoría de categorías.

Y en cuanto a cómo se adquiere el conocimiento y la destreza matemáticas, se acepta que ésta se obtiene en el aula con ayuda del profesor y, por tanto, de manera indirecta, haciendo uso de la imaginación, por etapas inferenciales intermedias, etc. Y ello porque las entidades como las estructuras y las posiciones en dichas estructuras son causalmente inertes y, de aquí, carecen de cualquier papel causal

en la generación de las creencias sobre las mismas. Posición epistemológica que conduce a la afirmación de que no hay diferencia alguna entre la matemática y las ciencias empíricas, entre un matemático y un científico. Ambos actúan, en lo epistemológico, con criterios del mismo tipo empirista.

Modalismo. Las dificultades que presentan posiciones como el logicismo renovado, con su inflexión de condicionalismo, o el estructuralismo eliminativo tienen una salida: partir de la idea de que no se necesita suponer la existencia actual de estructuras que satisfagan las condiciones que se desee, sino sólo que puedan existir, que tengan la posibilidad de existencia. Así el matemático no trataría con entidades de tipo especial alguno, sino con entidades posibles que muestran una determinada estructura que es la que satisface unos axiomas. Es el paso a lo que se califica de estructuralismo modal o modalismo. Una línea iniciada por Putnam desde 1967 cuyo objetivo se centraba en la eliminación de los objetos o entidades matemáticas manteniendo la idea de que «la matemática es una lógica modal».

Desde este enfoque el lenguaje de la matemática se estima como si hiciera afirmaciones de lo que podría acontecer en cualquier realización concreta de un cierto tipo de isomorfismo pero sin asegurar la existencia actual de dicha realización. Los operadores modales aparecen como instrumentos para eliminar cualquier referencia a objetos abstractos y, con ello, como medios para eliminar cualquier tipo de realismo platónico. Lo cual exige, en el fondo, un proceso de traducción de las proposiciones matemáticas en proposiciones modales. Hellman realiza este programa en dos pasos: en primer lugar, convertir las proposiciones S de la matemática en condicionales. Así, «S se sigue en cualquier ω-sucesión» se traduce en «Si X es una ω-sucesión cualquiera, entonces S se sigue en X». Un segundo paso, inmediato: la expresión obtenida se pasa a lenguaje modal de segundo orden. Una expresión como la anterior quedaría así: «Es necesario que para toda sucesión X, si X es una ω-sucesión, entonces S se sigue en X».

Este doble proceso traductor exige, al menos, dos componentes. La expresión traducida que se denomina «componente hipotética» y donde los cuantificadores quedan fuera del alcance del operador modal de necesidad y que permite la afirmación de que no hay cuantificación literal sobre objetos. Y una segunda componente que Hellman denomina «componente categórica» por la cual se asume que las estructuras del tipo apropiado son lógicamente posibles; es, por ello, una componente existencial y se impone para evitar la vacuidad que todo condicional entraña. Pero, entonces, surge una pregunta inme-

diata: ¿cuál es la sucesión que el matemático considera canónica? Y Hellman responde: «La posibilidad lógica de un modelo canónico de la aritmética no es un modelo arbitrario» (1990, 316).

La respuesta a la pregunta de cuál es la sucesión de los naturales, al estilo Dedekind: un sistema simplemente infinito teniendo presente que todos los sistemas simplemente infinitos son isomorfos entre sí. Desde esta posición se pretende una auténtica alternativa al platonismo realista, ya que «la referencia literal a objetos matemáticos está enteramente eliminada».

Sólo un punto: el discurso del matemático y el discurso del modalista estructuralista son muy diferentes. Si un matemático trabaja en teoría de números, hace referencia a números aunque quizá no sepa muy bien la naturaleza ontológica de los mismos. No trabaja, en principio, con meras *posibilia*. Y cuando hace una aserción, la hace acerca de números y no de entidades posibles que pueden ser referidas para constituir una estructura isomorfa a la mostrada por los números y ello con cierta posibilidad o necesidad. Por otro lado, cuando se hace una formulación en términos modales se tiene una presuposición implícita existencial, salvo que se afirme que las proposiciones de la matemática no hacen referencia a nada, son meras hipótesis posibles. Pero, entonces, aparece la cuestión del milagro y la indispensabilidad de la matemática para las restantes disciplinas, para el conocimiento en general. Y esta presuposición existencial cabe explicitarla mediante la admisión de una ontología de mundos posibles. Se evita la existencia de entidades matemáticas para acoger la existencia de mundos posibles.

Nominalismo. En un plano de radical fisicalismo, donde la eliminación de los objetos alcanza no sólo a la matemática sino a la física que se intenta elaborar sin números, se tiene una posición un tanto contradictoria que se acoge bajo la rúbrica de nominalismo fisicalista y que viene sustentada, especialmente, por Field. Muy en esquema, esta posición mantiene dos tesis centrales:

1) no hay entidades matemáticas;
2) las proposiciones matemáticas carecen de contenido.

En consecuencia, en matemática no hay problema epistémico alguno, causal o no causal, porque tampoco hay problema ontológico ya que no hay objetos que conocer. El dilema de Benacerraf, disuelto de modo total. Disolución de problemas también en otros campos como el de afirmaciones del tipo «No existe un número primo mayor que 100» que es siempre verdadera, ya que no hay números, primos o no. Y ello a pesar de que algunos matemáticos se esfuercen en encontrar números primos mucho mayores que 100, incluso para cuestiones

pragmáticas como la criptografía, entre otras. Para un nominalista radical lo único que parece existir son objetos físicos, expresiones lingüísticas, sucesos mentales.

Pero Field reconoce que hay un argumento como el *argumento de indispensabilidad*, que afirma que no se puede describir y explicar la *physis* sin el manejo de las teorías científicas, y todas las teorías científicas hacen uso indispensable de la matemática. Desde este argumento se tiene que postular la existencia de entidades matemáticas para asegurar la verdad de las proposiciones matemáticas que son indispensables para el conocimiento en general. Con una especie de rodeo, el objetivo de Field es mostrar que las teorías físicas no requieren, para nada, de esa existencia de objetos matemáticos. Las teorías matemáticas se muestran como instrumentos para derivar, de modo nominalista, conclusiones aceptables desde premisas que, igualmente, se aceptan con carácter estrictamente nominalista. En el fondo, la matemática aparece como una ficción platónica que puede ser útil o legítima en cuanto a su empleo en otras disciplinas siempre que se mantenga como instrumento de carácter nominalista, sin referencia a entidades u objetos, ni a verdades de tipo alguno. Y Field ha tratado de mostrar, en estrategia nominalista, que la mecánica gravitacional de Newton puede construirse de modo nominalista como una teoría física F y no como se hace de modo tradicional como teoría física matematizada M.

A pesar de sus esfuerzos, Field reconoce que, hasta el presente, «no sabemos en detalle cómo eliminar entidades matemáticas de toda explicación científica que aceptamos». De ahí que no hay justificación para dicha supresión ni para tomarse tanto trabajo para este objetivo.

2.3. *Constructivismo*

Es un término que engloba una gran variedad de tendencias internas al hacer matemático aunque no todas posean en común más que el nombre y, por supuesto, un carácter de tipo calculatorio, efectivo en cuanto a los objetos y demostraciones de las propiedades atribuibles a los mismos. Más que plantear cuestiones de carácter ontológico o epistemológico se pretende en ellas una reconstrucción efectiva del hacer matemático clásico con una desconfianza radical hacia las demostraciones de carácter puramente existencial de los teoremas, hacia las demostraciones propias del hacer global. En estas tendencias cabría incluir, entre otras, la escuela de Markov, pero menciono simplemente la línea mantenida por Bishop y sus seguidores.

Desde un campo interno a la práctica matemática se realiza una crítica a la convicción de que el matemático se considera como un ser

omnisciente limitado que actúa con el universo matemático y además se permite hablar, en las demostraciones, de «existe», «se puede hallar» sin dar mecanismo alguno para establecer tal existencia o bien obtener aquello que dice poder ser obtenido. Omnisciente porque establece la existencia de objetos, de propiedades de los mismos, pero limitado porque no puede mostrar tal objeto ni dar mecanismo alguno para obtenerlo. Desde esta crítica, y en su lugar, se pretende que ese ser omnisciente pueda, de hecho, llevar a cabo tales demostraciones, tales cálculos. Y ello supone, evidentemente, tener que aceptar la restricción a terrenos finitos y, especialmente, interpretaciones de carácter computacional para la matemática. Se intenta reemplazar el matemático omnisciente limitado por uno algo menos observador y más dado a obtener procesos efectivos de cálculo, se tiende a que el matemático venga, de alguna manera, ayudado por el intruso, por el ordenador.

En 1975 Bishop indicaba la existencia de una «crisis de la matemática contemporánea». Crisis, porque encuentra una ausencia total de significado numérico en la misma. Para Bishop la crisis se debe al abandono y desprecio que sienten los matemáticos por los aspectos filosóficos. Desprecio porque el matemático identifica filosofía con estudio de sistemas formales y abandona la filosofía, abandona el estudio de los sistemas formales, que deja para el lógico, ya que el matemático, según Bishop, no identifica su hacer con el de los sistemas formales. Abandono de lo filosófico, que no de lo formal lógico, que ha conducido, según Bishop, a que la matemática haya perdido su significación numérica. Retomando a Brouwer, adopta como objetivo que «cuando una persona demuestra que existe un número, tiene que demostrar cómo hallarlo». No basta realizar demostraciones de carácter existencial sino que, a continuación, hay que calcular el número, la función, el objeto del que se ha dado la demostración de existencia. Es el paso de la omnisciencia limitada a la *omnisciencia total*.

Si ésta es la justificación teórica del constructivismo de Bishop, lo que importa en este terreno no es la misma, sino la reconstrucción de una matemática con contenido numérico. Naturalmente lo que importa para Bishop es la matemática que los matemáticos hacen, no la que algunos lógico-formales hacen. Y lo que los matemáticos hacen es análisis matemático, entre otras cosas. Bishop se centra en una reconstrucción «constructivista» del mismo. Para ello lo primero que tiene que hacer es caracterizar lo que es un número real —a vueltas con el continuo y su discretización— que se le presenta como una sucesión regular de números racionales, lo que equivale a afirmar que es una sucesión de Cauchy de racionales con razón de convergencia especificada. Desde una perspectiva clásica, un desarrollo decimal

acotado. En el fondo, es volver al número computable de Borel y trabajar en un análisis computable o recursivo pretendidamente decidible. Se manejan los números reales como aproximaciones de racionales con error menor que un valor previamente dado. Y de esta manera se les dota de la significación numérica que habían ido perdiendo en el difuso formalismo bourbakista que impregnó la matemática desde los años cincuenta según Bishop.

Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos de los matemáticos constructivistas, no todo el análisis clásico se ha conseguido reformular en análisis constructivista; y no digamos otras matemáticas clásicas: incluso Bishop fue incapaz de decidir para un número x diferente de 0 si existía o no su inverso. Pero una estructura como la de grupo viene caracterizada por la existencia, para todo x diferente al neutro, de su inverso correspondiente.

El constructivismo de Bishop, que pretende apoyarse ideológicamente en Brouwer y los constructivistas franceses, aunque sea un apoyo meramente retórico porque su apoyo es, en el fondo, el intruso, el ordenador que posibilita obtener el número pedido mediante la computación correspondiente, entra de lleno en lo que he calificado en otros lugares de hacer computacional. En el fondo, tiene que dar paso a procesos de computación que permitan calcular, de manera aproximada, lo que desde el hacer global se demuestra con carácter existencial. No es un intento de fundamentación al viejo modo ni se limita a plantear cuestiones ontológicas en torno a los objetos matemáticos como las posiciones anteriores —logicismo, estructuralismo, nominalismo— realizaban. Desde una base ideológica claramente computacional se pretende una reconstrucción matemática del hacer matemático clásico.

BIBLIOGRAFÍA[1]

Aroca, J. M. (2001), «El progreso de la matemática en los últimos 25 años»: *Investigación y Ciencia* 301, 64-75.

1. Hay dos obras que, entre otras cosas de valor, contienen unos cuadros bibliográficos muy completos sobre filosofía de la matemática en el último tercio del siglo XX: en la segunda edición, revisada y aumentada, de Th. Tymoczko (ed.), *New Directions in the Philosophy of Mathematics*, Princeton University Press, 1998, Jesús Alcolea incorpora en Apéndice (411-436) una muy valiosa Bibliografía. Igualmente, en mi libro *Filosofías de la matemática fin de siglo XX*, Universidad de Valladolid, 2000, también se encuentra una amplia referencia bibliográfica. En lo que sigue menciono, de modo exclusivo, obras de referencia.

Benacerraf, P. (1973), «Mathematical truth»: *Journal of Philosophy* 70, 661-679.

Bishop, E. (1975), «The Crisis in Contemporary Mathematics»: *Historia Matematica* 2, 507-517.

Boolos, G. (1998), *Logic, Logic, and Logic*, Harvard University Press, Boston.

Feferman, S. (1985), «Working foundations»: *Synthese* 62, 229-254.

Field, H. (1980), *Science without numbers*, Princeton University Press, Princeton.

Hellman, G. (1989), *Mathematics without numbers*, Clarendon Press, Oxford.

Hilbert, D. (1993), «Neubegründung der Mathematik», «Die logischen Grundlagen der Mathematik» y «Über das Unendliche». Selección y trad. castellana: *Fundamentos de las Matemáticas*, ed. de C. Álvarez y L. F. Segura, UNAM, México.

Hilbert, I. D. y Cohn-Vossen, S. (1952), *Geometry and the Imagination*, Chelsea, New York (ed. original, 1932).

Resnik, M. D. (1981), «Mathematics as a Science of Patterns: Ontology and Reference»: *Nous* 15, 529-550.

Resnik, M. D. (1982), «Mathematics as a Science of Patterns: Epistemology»: *Nous* 16, 95-105.

Russell, B. (1948), *Los principios de la matemática*. Trad. de J. C. Grimberg, Espasa Calpe, Buenos Aires. También: Madrid, 1967.

Steiner, M., «Platonism and the Causal Theory of Knowledge»: *The Journal of Philosophy* 70, 57-66.

Wright, C. (1997), «On the Philosophical Significance of Frege's Theorem», en R. Heck (ed.), *Language, Thought and Logic*, Oxford University Press, Oxford, 201-244.

CERTEZAS E HIPÓTESIS: PERSPECTIVAS HISTÓRICAS Y NATURALISTAS SOBRE LA MATEMÁTICA

José Ferreirós

> «Matematizar» bien pudiera ser una actividad creativa del hombre, de una originalidad primaria, como el lenguaje o la música, cuyas decisiones históricas desafían una plena racionalización objetiva[1].

Una de las características del cambio en la imagen de la ciencia que suele asociarse con el nombre de Kuhn fue el dejar de pensar prioritariamente en la ciencia como teoría, desplazándose la atención hacia la ciencia entendida como actividad. Esa transformación ha afectado también a la filosofía de la matemática: si la tradición occidental tendió a concebir la matemática como una colección de teorías idealizada, hoy abundan los enfoques centrados en la *práctica matemática*. Las teorías son uno de los productos —históricos y en principio cambiantes— de la práctica matemática, pero también cabría hablar de otros productos no menos importantes para su desarrollo: problemas, métodos, conjeturas.

Se han propuesto múltiples maneras de considerar la actividad matemática: desde enfoques histórico-filosóficos propuestos en el primer tercio del siglo XX a perspectivas antropológicas y sociológicas (sin olvidar las siempre peculiares reflexiones de Wittgenstein). Obviamente, no podemos aquí abarcar todo este campo, aunque sí haremos referencias a algunas de esas perspectivas. Revisaremos ante todo varios enfoques históricos y naturalistas, familia de aproximaciones que queda bien representada en la obra de Philip Kitcher (1984, 1988).

Todos los planteamientos que hemos mencionado pueden llamarse «naturalistas» en el sentido laxo de la palabra, contrapuesto a «fundacionales»: no buscan una fundamentación de la matemática *more*

1. H. Weyl, «Obituary: David Hilbert 1862-1943», en *Gesammelte Abhandlungen*, Springer, Berlin, 1968, vol. 4, p. 126. Weyl fue uno de los grandes matemáticos del siglo XX, y probablemente el más notable discípulo de Hilbert.

cartesiano, sino que proponen ideas más o menos especulativas para analizar el fenómeno del conocimiento matemático. Sin embargo, aquí optaremos por usar el término *naturalismo* en un sentido más estricto y pregnante, para indicar que se asigna un papel central al modo en que el conocimiento matemático se liga con el ser natural del hombre, con las bases biológicas o psicológicas de la matemática[2]. Ideas de corte naturalista, en este sentido estricto, pueden encontrarse en Kitcher, y con más claridad en Piaget, Dehaene y otros autores.

A la hora de encuadrar estos enfoques, es útil distinguir entre *filosofía matemática* y filosofía *de la* matemática. La expresión «filosofía matemática» fue muy habitual en la primera mitad del siglo XX; Russell la utilizó ya en (1919)[3]. Su objetivo era *analizar las teorías matemáticas con medios lógico-matemáticos* y estableciendo resultados apodícticos. Ésta es también la línea que siguió el célebre *programa de Hilbert*, que intentó resolver el problema de los fundamentos de la matemática como un problema matemático, y se orientó a las demostraciones de consistencia. En dicha línea podemos situar enfoques como el logicismo, constructivismo, formalismo, predicativismo, e incluso —aunque con modificaciones notables— el estructuralismo reciente.

El objetivo de la «filosofía *de la* matemática», en cambio, es más tradicional: *analizar los métodos, la base epistemológica y la evolución de la práctica matemática* con las herramientas propias de la filosofía, o aun de la teorización en general. Habría que encuadrar aquí tendencias tan dispares como el platonismo, el intuicionismo, el empirismo, o los ya mencionados enfoques históricos y naturalistas. El siglo XX empezó con una clara preponderancia de la «filosofía matemática», que constituía la gran novedad al abrigo de la nueva lógica, pero concluyó con la balanza mucho más equilibrada.

Como notará el lector en lo que sigue, la preferencia por una visión histórica y centrada en la práctica no implica un rechazo a lo que se llama *estudios de fundamentos*. Aquí y en lo sucesivo, el lector debe ser consciente de una ambigüedad en el término «fundamentos»: su origen filosófico está en la búsqueda de bases absolutamente seguras y ciertas para el conocimiento, y éste es el sentido que criticaremos, y que denotamos también al hablar de *fundacionalismo*; otra cosa es el significado de la palabra cuando se habla de «estudios de fundamentos» como una rama de la matemática, sobre todo a partir de (di-

2. Contrástese con Maddy (1998). Naturalmente, no hay incompatibilidad entre esos dos usos del término: simplemente el primero me parece poco afortunado.

3. B. Russell, *Introduction to Mathematical Philosophy*, Allen & Unwin, London, 1919.

gamos) 1950. Los estudios de fundamentos persiguen hoy objetivos como aclarar los presupuestos y la estructura de las teorías matemáticas, sistematizarlas o unificarlas, pero no buscan dar garantías absolutas para los cimientos del conocimiento matemático. No hay, pues, contradicción o incompatibilidad con los enfoques históricos y/o naturalistas, por más que el análisis lógico necesite ser complementado con otras perspectivas. (Eso sí, el énfasis en la práctica conduce necesariamente a la idea de que el filósofo debe atender no sólo a los estudios de fundamentos, sino también a las ramas centrales de la matemática: álgebra, topología, y tantas otras.)

1. LA CONCEPCIÓN HIPOTÉTICA DE LA MATEMÁTICA

Aunque el debate sobre fundamentos de la matemática en los años 1900 a 1930 es bastante conocido, a menudo se presenta la cuestión en versión trivializada, como si en último término todo se redujera a la elección un tanto subjetiva entre varias posturas enfrentadas[4]. Afortunadamente, hay más de interés en el problema de los fundamentos de la matemática, y aquel debate dejó algunas conclusiones firmes. Entre las adquisiciones duraderas está el conocimiento de las posibilidades de formalización de teorías matemáticas por medio del simbolismo lógico (características, alcance y límites de la formalización), y su empleo para consideraciones metateóricas.

Como resultado de aquel debate, se consolidó también la contraposición entre un tratamiento de la matemática *constructivo*, basado en la consideración de procesos simbólicos, y el tratamiento *clásico*, ciertamente mayoritario. La matemática «clásica» postula libremente y describe relaciones entre objetos que se tratan como existentes autónomamente, al margen de toda relación con el matemático. Postula la existencia *ideal* (expresión de Hilbert y Zermelo) de objetos con propiedades especificadas. Este rasgo suele designarse con el término *platonismo*, acuñado por Bernays; se trata aquí de un platonismo metodológico, pero desde luego no necesariamente ontológico (ese «platonismo» tiene poco que ver con la filosofía de Platón)[5].

4. En especial la tríada de logicismo, intuicionismo y formalismo que, dicho sea de paso, no resume en absoluto todas las opciones de fundamentación posibles (habría que añadir otros constructivismos, el predicativismo, etcétera).

5. Cf. Bernays (1935); también puede verse la contribución de Jané en el volumen de esta Enciclopedia dedicado a filosofía de la lógica («¿De qué trata la teoría de conjuntos?», en R. Orayen y A. Moretti [eds.], *Filosofía de la lógica* [EIAF 27], Trotta, Madrid, 2005, pp. 247-275), o Ferreirós (1999). Sobre matemática clásica y constructiva puede verse la antología de Benacerraf y Putnam (1983).

Los *elementos ideales* (Hilbert 1926) que postula el matemático van más allá de lo dado, ya sea «dado» al nivel de una simple combinatoria de símbolos, al de lo derivable lógicamente a partir de la teoría de los números naturales, o incluso al de lo que podemos percibir o experimentar. Los ejemplos quizá más directos de esta postulación de elementos no constructivos son los casos de aplicación esencial del axioma de elección. Todo lo cual conduce a un resultado del debate de fundamentos que fue aceptado por autores de todas las tendencias, y de hecho por los mejores investigadores del siglo XX: el *carácter hipotético* de la matemática «clásica»[6].

Incluso el logicista que era Russell pensó en esos términos, siendo uno de los primeros en sugerir el carácter hipotético de un (supuesto) axioma fundamental. En *Principia Mathematica*, a la vista de las paradojas lógicas por un lado, y por otro de la necesidad en que se ven de adoptar el infausto «axioma de reducibilidad», Whitehead y Russell escriben:

> La autoevidencia nunca es más que una parte de la razón para aceptar un axioma, y nunca es indispensable. La razón para aceptar un axioma, como para aceptar cualquier otra proposición, es siempre en gran parte inductiva; es decir, que muchas proposiciones que son casi indubitables pueden deducirse a partir de él, y que no se conoce otro camino igualmente aceptable por el cual estas proposiciones pudieran ser verdaderas si el axioma fuera falso, y que nada que sea probablemente falso pueda deducirse de él[7].

Se trata de una formulación muy clara y directa del punto de vista que nos ocupa. Más de cincuenta años después, mediando cambios muy profundos en los estudios de fundamentos, Quine podía afirmar que la teoría de conjuntos es más conjetural que la superestructura matemática clásica que podemos fundar sobre ella. (Probablemente una mayoría de matemáticos no estarían de acuerdo con esta afirmación, pero sí lo estarán muchos expertos en teoría de conjuntos.) Precisamente por no aceptar ese carácter hipotético de la «nueva»

6. En un artículo sobre este tema, Lakatos (1967) cita no menos de trece autores notables en lógica y fundamentos, incluyendo a Russell, Fraenkel, Gödel, Weyl, Von Neumann, Bernays, Church, Curry y Mostowski, además de los que indico enseguida. Todos atestiguan la existencia de un nuevo espíritu «hipoteticista», pese a representar tendencias tan variopintas como el logicismo, el formalismo, el constructivismo y el platonismo.

7. A. N. Whitehead y B. Russell, *Principia Mathematica*, vol. 1, Cambridge University Press, 1910, [2]1925. Cita de las pp. 116-117 de la versión española abreviada (hasta *56), Paraninfo, Madrid, 1981.

matemática, los intuicionistas y constructivistas propusieron una restricción radical de sus métodos y resultados.

Lo que llamo *concepción hipotética* viene a coincidir con el «cuasi-empirismo» de Lakatos y otros autores, término que prefiero evitar por considerarlo muy confundente. Es necesario aclarar que al emplear la palabra «hipótesis» lo hacemos apoyándonos sobre todo en su significado etimológico, y no en el sentido que tradicionalmente se le ha dado en relación a la ciencia. Hipótesis es literalmente una suposición, «lo que se pone a la base», como el axioma de elección se pone a la base de la teoría de conjuntos y la matemática abstracta. Naturalmente, no añadimos la connotación de que las hipótesis matemáticas pretendan representar aspectos relevantes de los fenómenos naturales[8]. Si se quiere expresarlo así, las hipótesis matemáticas son *constitutivas* de un campo o dominio matemático, pero no son hipótesis representacionales.

Lo más llamativo de esta concepción hipotética es que va contra tendencias filosóficas de una larguísima trayectoria, contra toda la comprensión tradicional del conocimiento matemático a lo largo de más de dos mil años, desde Platón y Euclides a Kant y Gauss. Porque la tesis tradicional era que la matemática constituye un cuerpo de *verdades absolutamente ciertas y evidentes*. También va contra el dogma de la tautologicidad o analiticidad de la matemática, que alcanzó gran difusión en la primera mitad del siglo XX.

Esta nueva concepción no se limita ni con mucho a la investigación lógica y de fundamentos. La concepción hipotética fue emergiendo desde mediados del siglo XIX, con hitos tan relevantes desde el punto de vista de la auto-imagen de la matemática como fue el descubrimiento de que hay alternativas al axioma euclideo de las paralelas. La geometría pasó entonces a ser vista como una ciencia deductiva basada en hipótesis, lo que constituyó una transformación radical, no tanto de los métodos matemáticos, como de las concepciones reinantes respecto a la naturaleza de esta disciplina. Ante la variedad infinita de teorías geométricas euclideas y no euclideas, incompatibles entre sí, resultaba imposible seguir manteniendo la tesis tradicional de que la matemática consta de verdades ciertas y evidentes. Y esa imposibilidad se manifestaba precisamente en el dominio de la geometría, que se había considerado como paradigma de todo conocimiento matemático[9].

8. Esto sólo se añade cuando se emplean dichas hipótesis en la formulación de algún modelo científico, por ejemplo cuando se utilizan geometrías riemannianas o semi-riemannianas como base para modelos relativistas del cosmos.

9. Aunque menos importante históricamente, por esa misma época los algebris-

Riemann fue el gran precedente de la concepción hipotética, y además uno de los pocos que la designó así, en su célebre conferencia «Sobre las hipótesis en que se funda la geometría» (1868, leída en 1854). Aquí llama «hipótesis» a los axiomas de la geometría, porque los trata como proposiciones cuya corrección tiene que determinarse experimentalmente. En caso de que se confirmen, podemos —afirma— decir que son hechos, pero «como todos los hechos, estos hechos no son necesarios, sino sólo tienen certeza empírica: son hipótesis» (*op. cit.*, 3)[10]. Un aspecto muy notable de su obra es que la misma idea de la *continuidad* del espacio se toma como una hipótesis: sería perfectamente posible —opina Riemann— que lo real subyacente a nuestra concepción del espacio fuera un conjunto discreto.

La búsqueda del rigor en análisis llevó hacia 1870, por vez primera, a formular sistemas axiomáticos para los números reales. Elemento clave en estos sistemas es alguna versión del axioma de continuidad o completitud[11], reconocido como necesario e incluso como «evidente» por la mayoría de los matemáticos del XIX. Pero enseguida surgieron voces disidentes que inauguraron las críticas contemporáneas a la matemática abstracta: Kronecker llegó a decir en una carta de 1870 que una consecuencia de ese axioma (el teorema de Bolzano-Weierstrass, clave de bóveda en el análisis matemático clásico) era un «obvio sofisma», lo que marca el comienzo de la tradición heterodoxa del constructivismo[12]. Se planteaba la cuestión de hasta qué punto el núcleo de la matemática moderna, el análisis, va más allá de lo que es posible desarrollar por construcción sobre los números naturales, y tiene, pues, carácter hipotético.

Entrando ya en el siglo XX, surgió otro caso especialmente relevante y candente: el debate en torno al axioma de elección[13]. Este

tas formulaban explícitamente las «leyes del álgebra», pero enseguida surgían nuevos sistemas —como los cuaternios de Hamilton, antecesores del álgebra vectorial— que no cumplían dichas «leyes»: los axiomas de cuerpo conmutativo.

10. Como puede advertirse, Riemann está aquí considerando los axiomas geométricos como hipótesis representacionales, pero esto presupone que los considera también como hipótesis constitutivas.

11. Formulado por ejemplo mediante cortaduras (Dedekind) o al modo de Weierstrass y Cantor. No se confunda la continuidad del conjunto de números reales con la continuidad de una función (idea derivativa).

12. Carta de Kronecker a Schwarz citada en H. Meschkowski, *Georg Cantor*, Mannheim, B.I.-Wissenschaftsverlag, 1983, p. 68.

13. Cf. la primera parte de E. Zermelo, «Neuer Beweis für die Möglichkeit einer Wohlordnung»: *Mathematische Annalen*, 65, 1908 (versión inglesa en J. van Heijenoort, 1967, 182-198), y también el muy exhaustivo estudio histórico de G. Moore, *Zermelo's Axiom of Choice: Its origins, development and influence*, Springer, Berlin, 1982.

axioma fue tratado como hipótesis de forma sistemática, y casi ritualizada, desde *Principia Mathematica* en adelante por unos treinta años. Sin embargo, como en el caso anterior, el axioma es generalmente aceptado, dado que resulta indispensable para el análisis y el álgebra. En realidad, el axioma de elección no es más que un perfecto representante de la matemática «clásica». Las dificultades que hubo para admitirlo reflejan los reparos que inicialmente despertó el platonismo metodológico que caracteriza a este modo de hacer matemática. El axioma de elección es, de hecho, el único postulado de la teoría axiomática de conjuntos que explícitamente determina la existencia de un conjunto arbitrario. Pero la idea de conjunto arbitrario era absolutamente central en Dedekind, Cantor y otros (no es extraño que el axioma se hubiera empleado inadvertidamente antes de 1904).

2. EL MANEJO DE HIPÓTESIS Y CONJETURAS EN MATEMÁTICA

La historia del axioma de elección nos muestra con toda claridad cuál es la práctica que siguen los matemáticos al enfrentarse con un principio cuyo carácter hipotético resulta obvio. Algunos autores (como Peano ya en 1890) expresaron su rechazo categórico, cosa que sucedió incluso entre quienes habían empleado el postulado implícitamente en su obra anterior (Lebesgue y otros en 1905). Los partidarios del axioma, como Zermelo en 1908, se defendían mostrando numerosos casos de *uso implícito* en la práctica matemática previa; el polaco Sierpiński mostraría en 1918 hasta qué punto el análisis clásico depende del axioma.

A partir de aquí, y durante un par de décadas, se hizo habitual adoptar el postulado de manera muy cautelosa y siempre resaltando explícitamente su empleo. Sierpiński, Tarski y otros procedieron al análisis de proposiciones demostrativamente equivalentes, y de proposiciones más débiles, esto es, consecuencias del axioma pero que no lo implican. Se estudió sistemáticamente qué partes de las teorías pueden desarrollarse sin el axioma, cuáles sólo con él, y qué consecuencias chocantes entraña (como las paradojas de Hausdorff y de Banach-Tarski). Finalmente, se desarrollaron nuevas concepciones «intuitivas» que permiten justificar el postulado, como la concepción iterativa de los conjuntos a partir de Gödel en 1933[14]. O, simplemente, se pasó a utilizar el axioma sin dudas, olvidando los anteriores reparos.

14. Cf. I. Jané, «¿De qué trata la teoría de conjuntos?», cit..

Por supuesto, lo último sucedió en el caso del axioma de elección porque este postulado resultaba esencial para la obtención de teoremas que en la práctica se tenían por irrenunciables. En la matemática contemporánea hay muchos otros ejemplos de elementos hipotéticos, que se utilizan de distinta manera. En la mayoría de los casos hablamos de *conjeturas*, pero también sucede que se emplee indistintamente uno u otro término, como sucede en el caso de la «hipótesis» de Riemann. Conviene aclarar algo inmediatamente, para no confundir a nadie, y es que hay toda una serie de matices que diferencian la situación de unas conjeturas y otras.

En general, lo que llamamos «conjetura» es un enunciado que consideramos puede establecerse (o refutarse) empleando principios conocidos, o sea, sobre la base de los axiomas aceptados; esto es, no se espera que acabe convirtiéndose en axioma o conduciendo a la formulación de un nuevo axioma[15]. A menudo puede haber dudas fundadas de si una conjetura resultará ser verdadera o no, de modo que el grado de compromiso de los matemáticos con ellas estará muy lejos del correspondiente a casos como los anteriores del axioma de completitud o el de elección. Y desde luego, no todas las conjeturas son iguales, en el sentido de que algunas son superficiales, mientras otras resultan muy profundas por sus conexiones, por sus implicaciones, o por los conceptos y métodos cuyo desarrollo estimulan.

El caso de la llamada hipótesis del continuo es interesante por contraposición al axioma de elección[16]. Desde un punto de vista estrictamente lógico, la situación es idéntica en ambos casos: Cohen demostró en 1963 que esta hipótesis es independiente de los axiomas de la teoría de conjuntos, y Gödel estableció en 1939 que tanto elección como la hipótesis del continuo son consistentes relativamente a los demás axiomas de Zermelo-Fraenkel. Pero la hipótesis de Cantor no se adopta como una hipótesis constitutiva (axioma) en el dominio de la teoría de conjuntos, seguramente porque carece de consecuencias de gran relevancia en el cuerpo central del conocimiento matemático. Se siguen explorando sus consecuencias, equivalencias y dependen-

15. Pero insistiría en que la distinción no es tajante: durante siglos, el axioma de las paralelas se trató como una conjetura, intentando demostrarlo sobre la base de principios más simples (cf., por ejemplo, J. Gray, *Ideas de espacio*, Mondadori, Madrid, 1992); y la hipótesis del continuo, o alguna de sus alternativas, podría acabar siendo axioma.

16. Cantor conjeturó en 1878 que todo conjunto infinito de números reales es, o bien enumerable, o bien equipotente al conjunto $\mathbb{R}$ de *todos* los números reales. En su forma generalizada, la hipótesis del continuo dice que $2^{\aleph_\alpha} = \aleph_{\alpha+1}$.

cias, así como otros supuestos alternativos, lo que delinea un panorama más abierto que en el caso de elección[17].

Javier Echeverría ha dedicado gran atención a la teoría de números, por ser un campo en el que las conjeturas aparecen con frecuencia y admiten un tratamiento muy rico[18]. Aquí encontramos conjeturas no demostradas, pero que —según Echeverría— pueden llegar a tener el rango de *leyes empíricas*, de verdades establecidas por inducción (incompleta). Es el caso de la conjetura de Goldbach, que dice: todo número par es la suma de dos primos; existe amplia evidencia empírica en su apoyo, pero no una demostración estricta. Entre las muchas conjeturas que surgen en teoría de números, las hay que tienen mucho mayor calado que la de Goldbach, y dan pie a una discusión teórica más rica. Desde este punto de vista, la célebre conjetura de Riemann se encuentra en las antípodas de la anterior; apareció tanto en la famosa lista de problemas matemáticos elaborada por Hilbert en 1900, como en la lista de «problemas del milenio» publicados en 2000 por el Clay Mathematics Institute[19].

La hipótesis de Riemann sobre los ceros de la función zeta —función relacionada con la distribución de números primos en la serie de los números naturales— se ha estudiado desde multitud de perspectivas y estrategias. Ha sido analizada de manera similar al axioma de elección, estudiando sus consecuencias e implicaciones, por ejemplo, que es equivalente a un refinamiento del teorema de los números primos. También ha sido demostrada para casos particulares, dando lugar a desarrollos teóricos de gran riqueza y complejidad en el contexto de las variedades algebraicas sobre cuerpos finitos. No han faltado tampoco los métodos empíricos: se ha suministrado evidencia a través de contrastaciones cada vez más amplias (con ayuda de computadoras, hoy parece haberse comprobado su validez para los primeros 100.000 millones de ceros de la función zeta), y se han establecido resultados estadísticos asegurando porcentajes en los que resulta correcta (concretamente para más del 40% de los ceros de la función)[20].

Echeverría ha resaltado que el trabajo sobre conjeturas elaboradas por el método que sea, incluyendo su contrastación empírica o inductiva, fue y es fundamental en las diversas ramas de la matemática.

17. Véanse, por ejemplo, los trabajos de Maddy (1990 y 1998).
18. Cf. Echeverría (1992 y 1995). Véase también Mazur (1997).
19. Cuya prueba se premiará con un millón de dólares.
20. Véanse Echeverría (1995) y Riemann (2000). En Internet abundan las páginas dedicadas a esta conjetura: véase por ejemplo http://www.maths.ex.ac.uk/~mwatkins/zeta/riemannhyp.htm

Algunas de las conjeturas mencionadas han sido verdaderos *motores* del desarrollo de la disciplina, contribuyendo al avance del conocimiento más que muchos teoremas establecidos y demostrados rigurosamente. Tales conjeturas circulan de investigador en investigador, como material precioso que guía su trabajo, pero raramente se publican[21]. Un fenómeno muy interesante es la presencia de series de conjeturas interrelacionadas y en desarrollo, como la cadena de conjeturas (desde el «sueño juvenil» de Kronecker hasta la de Taniyama) que, una vez probadas, llevaron a la demostración del «último teorema» de Fermat por Andrew Wiles. Esto sucedía en 1995, más de trescientos años después de que Fermat formulara inicialmente lo que en realidad era sólo una conjetura.

Todo lo anterior no anula el hecho de que el objetivo final del matemático —al menos en las prácticas occidentales— es la demostración, y que una vez lograda una teoría axiomática todo lo demás se queda en «proceso de descubrimiento». Pero se debe tener bien presente que (como hemos visto) algunos postulados básicos de las teorías axiomáticas no son otra cosa que hipótesis consolidadas, solidificadas. La razón para aceptar tales hipótesis o postulados, como señaló ya Russell, no está en que sean «evidentes» ni menos aún «ciertas», sino en que permiten formular rigurosamente ideas o nociones en las que se ha venido basando la práctica matemática anterior, en que de ellas se deducen consecuencias aceptadas y/o deseables.

La presencia de hipótesis en el corazón mismo de la matemática establece una importante similitud entre ésta y la física teórica, como ya señaló Hilbert, y socava la simplista distinción tradicional entre ciencias «formales» y «empíricas» (cf. Weyl 1927; Quine 1951). También Gödel resaltó que en matemática se plantean hipótesis teóricas, las cuales se juzgan en función de criterios especulativos, tales como: logro de generalidad explicativa; capacidad de predecir resultados elementales «verificables» independientemente; logro de teorías simples y completas; que den lugar a extensiones fructíferas de las teorías; y quizá también —pensaba Gödel— criterios de plausibilidad intrínseca[22].

21. Sobre este y otros temas relacionados, incluyendo el ascenso del «arte de conjeturar» en el siglo XX, puede verse el interesantísimo trabajo de Mazur (1997).

22. Gödel (1980, 310, 359-361); véase la elaboración de esa cuestión que ofrece Maddy (1990).

3. LA HISTORICIDAD DEL CONOCIMIENTO MATEMÁTICO, EL FRACASO DEL FUNDACIONALISMO Y SUS IMPLICACIONES

El carácter hipotético de algunos principios matemáticos básicos entraña la historicidad o contingencia de la propia disciplina. Si la función del matemático pudiera describirse como la tarea de sacar a la luz ciertas estructuras preexistentes, dadas con anterioridad al desarrollo de su tarea, no habría motivos para hablar de una historicidad esencial. Pero hemos visto que los sistemas estudiados por los matemáticos vienen caracterizados por axiomas que son (algunos al menos) de carácter hipotético, y que han sido adoptados de común acuerdo en el curso de la historia.

Precisamente porque esas hipótesis no son representacionales, porque no hay «hechos» correspondientes ni posibilidad de confirmación, siempre podrían haber sido rechazadas por la comunidad de matemáticos. La contingencia está instalada de modo inevitable en el seno de la matemática. Naturalmente, hay quienes negarán esta afirmación, pues piensan precisamente que las hipótesis matemáticas son representacionales: se trata de los defensores del *realismo* con respecto a la matemática. Pero ésta es una interpretación filosófica que no sólo carece de justificaciones fuertes, sino que además plantea problemas epistemológicos serios, al margen de que resulta cada vez menos plausible en el contexto general de nuestros conocimientos[23].

Desde otros puntos de vista, y en ocasiones con otros matices, la historicidad de la matemática ha sido afirmada por diversos autores durante el siglo XX: por ejemplo, ya antes de 1940, un matemático de primer rango como Weyl, o los filósofos franceses Cavaillès y Lautman. En nuestro marco lingüístico, cabe destacar en este sentido la obra de Javier de Lorenzo (1977), quien enfatizaba la coexistencia e interrelación constante de dos planos: el hacer interno, o práctica teórica matemática, y el marco social e ideológico que posibilita y condiciona al anterior; en su opinión, ambos planos irían íntimamente unidos en la práctica matemática.

¿Cabe eliminar de alguna manera el elemento contingente de los sistemas axiomáticos, o al menos del estudio general de tales sistemas? Hilbert vio una posibilidad de hacerlo. El famoso *programa de Hilbert* pretendía eliminar de una vez para siempre las dudas escépticas sobre la consistencia de los sistemas matemáticos. De haber tenido éxito, se podría haber redefinido la actividad matemática como el

23. Un *locus* clásico para estos problemas del realismo es Benacerraf (1973). Puede verse también mi trabajo «Matemáticas y platonismo(s)».

estudio de *todos* los sistemas probadamente consistentes, lo que habría equivalido a una eliminación de la historia y lo contingente. Pero, como es bien sabido, los teoremas de Gödel, sobre la incompletud de los sistemas formales que abarcan la aritmética recursiva primitiva, establecen que nada parecido a la pretensión de Hilbert es posible.

Al enfrentarse con estos teoremas y constatar la imposibilidad de una demostración finitaria de consistencia para la aritmética de Peano formalizada (segundo teorema de Gödel), muchos experimentan una sensación de desconcierto. Por decirlo con expresiones del propio Hilbert (1926, 274), «¿dónde encontraremos, por otro camino, la seguridad y la verdad, cuando hasta en el pensamiento matemático fallan?». Pero aquí son demasiado frecuentes las conclusiones precipitadas, que confunden tesis no equivalentes. Por eso en este punto es especialmente importante una discusión del sentido y el alcance que tiene el fracaso del fundacionalismo[24].

Los teoremas de Gödel no deben verse como si establecieran con seguridad el carácter incierto y radicalmente falible de la matemática. El fracaso del fundacionalismo no nos arroja en brazos de un *antifundacionalismo*: no implica que la matemática carezca de fundamentos. Sólo establece que esos fundamentos, caso de existir, no pueden garantizarse con los medios simples, estrictamente matemáticos y formales, que pretendía Hilbert. Lo que fracasa es el intento de convertir buena parte de los problemas de la filosofía de la matemática en un problema matemático. Surgen también dudas muy serias sobre la idea cartesiana de un conocimiento que sólo se elabora tras haberse asegurado, por medios filosóficos o lógicos, un fundamento absoluto de la verdad. Pero esto no es una situación desesperada. A fin de cuentas, en la práctica el conocimiento nunca se ha elaborado así, y caben visiones alternativas como las ofrecidas por el pragmatismo y el naturalismo.

Durante el siglo XX se han planteado otras muchas interpretaciones pseudo-filosóficas de las implicaciones que, para el conocimiento o la mente, tendrían los teoremas de Gödel. Sobre ellas, baste advertir que estos teoremas nos hablan única y exclusivamente de sistemas estrictamente formalizados. Las prácticas matemáticas son algo simplemente distinto y más amplio. Así, estas «consecuencias» de los re-

24. Recuérdese lo dicho en la introducción: aquí y en otros lugares utilizamos «fundamentos» con las connotaciones filosóficas fuertes que la tradición ha otorgado a esa palabra. Aunque por razones de espacio sólo hablaremos de los teoremas de Gödel, hay mucho más que podría discutirse. Un *locus* clásico para la crítica al fundacionalismo es Quine (1969); para mayor información matemática, puede verse por ejemplo Feferman (1998).

sultados de Gödel se basan en gran número supuestos adicionales que —y esto es lo más grave— suelen quedar implícitos y sin someterse a discusión.

Se han conseguido resultados metamatemáticos de consistencia más débiles que los buscados por Hilbert, pero interesantes, a partir de la obra de Gentzen. Sin embargo, no hay a la vista ninguna expectativa de «eliminar las dudas escépticas» respecto a la teoría de conjuntos o el sistema de los números reales[25]. Debe quedar claro que la fuente de nuestra confianza en la admisibilidad de la matemática clásica no está en ningún logro del formalismo, sino que debe buscarse en otra parte. Y queda claro también que la matemática, tal como la conocemos y la desarrollamos hoy, sólo puede entenderse como resultado de un proceso histórico. Como bien dijo Weyl, sin los conceptos, métodos y resultados logrados y desarrollados por anteriores generaciones, no se pueden entender ni los objetivos ni los logros de la matemática contemporánea[26].

¿Dónde queda entonces la especificidad de la matemática, la peculiar objetividad de sus resultados y desarrollos? Lo primero que debemos matizar es que su historicidad no implica en absoluto que la matemática sea un producto cultural más, o un simple constructo social (véase la sección 5). No fue ceguera o simple prejuicio cultural lo que llevó a matemáticos y filósofos de nuestra tradición a pensar que el conocimiento matemático era distinto y se distinguía precisamente por su objetividad. Aun reconociendo que llevaron demasiado lejos esa idea, queda la tarea de reconciliar el carácter hipotético de (partes de) las teorías matemáticas, con la peculiar objetividad —o al menos no arbitrariedad— que también las caracteriza.

Al decir que el axioma de completitud de los reales o el axioma de elección son hipótesis constitutivas asumidas por la casi totalidad de la comunidad matemática, estamos reconociendo, si se quiere decir así, que hay algo de ficción tanto en el concepto de número real como en el de conjunto. Pero se puede afirmar —adaptando una expresión de Leibniz— que en todo caso se trata de *ficciones bien fundadas*. Es decir, que hablamos de supuestos *no arbitrarios*, que surgen con naturalidad a propósito de fenómenos y resultados previamente

25. Entiéndase bien: no es mi intención defender dicho escepticismo; a título personal, estaría de acuerdo con la mayoría de los matemáticos profesionales en la confianza de que los dos sistemas mencionados son consistentes.

26. H. Weyl, «A half century of mathematics»: *American Mathematical Monthly*, 58, 1951; también en sus *Gesammelte Abhandlungen* (*op. cit.*), vol. 4, Weyl escribió: «retrocediendo hasta la Antigüedad griega», pero quizá haya que ir más allá.

conocidos, y que en buena medida vienen condicionados por ese contexto previo en el que se insertan.

Establecida la historicidad del conocimiento matemático, surgen pues dos cuestiones. Primero, ¿qué puede decirse sobre las formas de desarrollo histórico de conceptos, teorías y métodos que aquí se ponen de manifiesto? Y segundo, ¿está limitada de algún modo la libertad del desarrollo histórico?, ¿o puede hablarse de una variabilidad teórica sin límites?

4. PAUTAS DE DESARROLLO HISTÓRICO

4.1. *Patrones globales*

La afirmación de Weyl sobre los nexos que ligan la práctica matemática actual con sus precedentes hasta los griegos, o más allá, puede interpretarse de varias maneras. Una visión dominante hasta mediados del siglo XX fue la *acumulativa* y *progresiva* típica de la Ilustración y el positivismo, que postulaba un desarrollo lineal, continuo y acumulativo hasta culminar en el presente. Combinada con la idea típicamente germánica del «milagro griego», esta concepción defendió la visión de un origen único de la matemática en Grecia, con subsiguiente difusión y desarrollo. A esa visión se han enfrentado tesis como la del desarrollo por *rupturas* radicales, característica de toda una tradición de filósofos franceses, y que fue defendida entre nosotros por De Lorenzo (1977).

Javier de Lorenzo afirma que es necesario distinguir varias formas de práctica matemática, cada una con distintos conceptos, métodos y criterios de verdad y rigor. Ejemplos son —en su terminología— el *hacer figural*, de carácter finitista y constructivo, y el *hacer global* conjuntista, con su carácter infinitista y su platonismo metodológico (De Lorenzo 1993). Los cambios y rupturas a nivel conceptual hacen necesarios cambios de tipo metodológico[27]. Otra tesis característica suya es que dichos haceres no se limitan a sucederse uno a otro a través de momentos de ruptura, sino que coexisten en la historia subsiguiente, cada uno con su «tiempo» característico (en el sentido de potencialidad, por ejemplo repliegue sobre el pasado o proyección de futuro).

Ideas que muestran cierta similitud con ésas han sido propuestas por Philip Kitcher, si bien este autor esboza un enfoque más conti-

27. En un proceso que por otro lado —según De Lorenzo— no sería disociable de las condiciones socioeconómicas en las que tiene lugar la práctica matemática.

nuista, no presenta la tesis de la coexistencia, y defiende a capa y espada la *racionalidad* de las transiciones[28]. Según Kitcher (1984), la matemática actual puede justificarse como desarrollo de prácticas matemáticas anteriores, en una cadena de transiciones racionales que acaba enraizando con proto-conocimientos empíricos, perceptivos. La *práctica* es aquí la unidad de cambio matemático, y cada práctica viene caracterizada como una quíntupla $<L, E, R, C, I>$ de *lenguaje* empleado, *enunciados* aceptados, modos de *razonamiento* sancionados, *cuestiones* no resueltas, e *imágenes* generales sobre la disciplina.

Las transiciones o cambios surgen porque, al tratar de resolver problemas abiertos, se introduce nuevo lenguaje o nuevos razonamientos o enunciados, causando inestabilidad en el sistema —debido a dudas legítimas, falta de claridad, y en general a tensiones entre los viejos y nuevos elementos de la práctica—. Van surgiendo así nuevas prácticas y nuevos problemas. En su obra, Kitcher ha intentado tipificar algunos casos importantes de «transición racional», y ha aplicado su esquema al ejemplo del desarrollo del análisis.

Si bien no es éste el lugar para entrar en una discusión detallada, cabe apuntar que el modelo de Kitcher —reconocidamente inspirado en Kuhn— me parece demasiado cercano a la «concepción enunciativa» en filosofía de la ciencia. Creo que hubiera sido mejor seguir a Kuhn al enfatizar la importancia de los ejemplares (ejemplos paradigmáticos) en el conocimiento. Y también se hubieran podido extraer importantes lecciones de la obra de Pólya y Lakatos: no sólo importan los modos de razonamiento sancionados, sino toda una metodología de solución de problemas, demostración, análisis de demostraciones, elaboración de teorías; además, cabe hablar de la importancia de elementos heurísticos.

Por otro lado, al nivel de mero apunte, hay que destacar que la historiografía reciente cuestiona la imagen demasiado monolítica que estas filosofías dan de la práctica matemática en cada época, ya que enfatiza la coexistencia de *escuelas de investigación* con prácticas divergentes[29]. Las divergencias no impiden que se compartan algunos ejemplares y elementos lingüísticos, pero marcan tendencias diferentes a nivel de imágenes, metodología, heurística, e incluso a nivel con-

28. Véase por ejemplo Kitcher (1988, 299). Más abajo, en la quíntupla que caracteriza cada práctica matemática, nos hemos permitido «castellanizar» las siglas de Kitcher.

29. Un ejemplo relevante puede verse en J. Ferreirós, *Labyrinth of Thought. A history of set theory and its role in modern mathematics*, Birkhäuser, Basel, 1999, cap. 1; véase también la introducción a esa obra.

ceptual. La presencia de las escuelas de investigación como fuente de diversidad sugiere la conveniencia de aplicar modelos evolucionistas al desarrollo matemático, en un intento de refinar los modelos históricos que hemos visto.

4.2. *Patrones locales*

No podemos abandonar el tema de las pautas de desarrollo sin mencionar las influyentes ideas de Imre Lakatos. Su esquema puede ser calificado de *local*, por contraposición al carácter global de los modelos de Kitcher y De Lorenzo[30]. Lakatos no trata de analizar los grandes elementos que caracterizan un hacer o práctica, sino más bien intenta explicitar ciertos mecanismos que rigen muchos procesos de cambio. Su patrón de demostraciones y refutaciones es quizá la propuesta más exitosa realizada en filosofía de la matemática durante la segunda mitad del siglo XX. Dada su buena difusión, no sólo entre filósofos sino también entre matemáticos, y ya que los escritos de Lakatos son fácilmente accesibles, nos limitaremos a un resumen breve[31].

Lakatos llama «lógica del descubrimiento matemático» a algo que en realidad no es lógica en el sentido técnico de la palabra, sino más bien un *método heurístico* de gran interés. El conocimiento matemático no se desarrolla «mediante un monótono aumento del número de teoremas indubitablemente establecidos», sino a partir de conjeturas arriesgadas e imaginativas. Procede a través de «la incesante mejora de las conjeturas, gracias a la especulación y a la crítica» (Lakatos 1976, 20). Los estadios fundamentales del método de pruebas y refutaciones —o de «análisis de la demostración»— son sintetizados por Lakatos en un texto muy recomendable, el apéndice 1 a *Pruebas y refutaciones* (*op. cit.*, 149 ss.):

1) Partimos de una *conjetura primitiva*,

2) se ofrece una *demostración informal* de la conjetura (un «experimento mental o argumento aproximado», que descompone la conjetura primitiva en *lemas*),

3) se presentan *contraejemplos globales* a la conjetura, como resultado de la crítica,

30. Los términos «local» y «global» se emplean aquí con su significado usual en matemática: son locales las propiedades de una curva en el entorno de un punto, globales las que caracterizan a la curva entera. Para aplicarlo al caso que nos ocupa, basta pensar en la «trayectoria» histórica literalmente como una curva.

31. Un examen crítico de las ideas de Lakatos puede encontrarse en Feferman (1998, cap. 3) —incluye comparaciones con la obra de Pólya—, y en Hernández (1992). Véanse también Corfield (1997) y Ernest (1997).

4) se reexamina la demostración, buscando el «*lema culpable*» del contraejemplo; dicho lema puede haber permanecido implícito antes, o no haber sido identificado correctamente,

5) este lema, adecuadamente formulado, se incorpora como condición a la conjetura, obteniéndose una *conjetura mejorada*. A menudo este proceso lleva a la aparición de nuevos conceptos más avanzados, lo que Lakatos llama «*concepto generado por la prueba*».

Debe notarse que, como Lakatos reconoce expresamente, los pasos 3 y 4 pueden aparecer en el orden inverso: el examen crítico de una demostración puede originar la formulación de contraejemplos, tanto globales como locales para alguno de sus lemas.

El filósofo húngaro-británico desarrolló este esquema detalladamente en dos casos: para la larga historia de la conjetura de Euler (relativa al número de vértices, aristas y caras de un poliedro) y —en el apéndice mencionado— para el teorema de Cauchy sobre el límite de una serie de funciones continuas. Lakatos exploró también el modo en que sus ideas heurísticas podían contribuir al pensamiento crítico, estimulando una educación no autoritaria (como en su opinión es la presentación deductivista habitual), y analizó algunas estrategias propias del estilo deductivista dogmático, como la «exclusión de monstruos» y la «exclusión de excepciones».

Resulta bastante obvio que el patrón de Lakatos no agota los mecanismos relevantes de cambio local en matemática. Puede encontrarse algún otro en la obra del francés Jean Cavaillès, escrita en los años 1930[32]. Cavaillès enfatizó una pauta que podríamos llamar de *hibridación*: muchos desarrollos novedosos tienen su origen en el establecimiento de puentes entre teorías o dominios matemáticos coexistentes; ejemplo típico serían cruces de álgebra y geometría como la geometría analítica del XVII o la invención de los cuaternios[33]. También resaltó la pauta de *tematización*: la elaboración de aparato teórico con el que discutir explícitamente una noción que estaba implícita en la práctica anterior (lo cual puede observarse en las historia de las ideas de aplicación, estructura, algoritmo, categoría).

Cada una de las anteriores pautas, modelos o patrones *locales* permite analizar procesos de crecimiento y desarrollo teórico en matemática no accesibles a las otras, y sin duda el inventario podría ser ampliado y refinado.

32. De este autor puede consultarse algún artículo traducido en el volumen especial de *Mathesis* (vol. 5, 1989), así como Cavaillès (1962) y el capítulo correspondiente en Barbin y Caveing (1996), escrito por H. Sinaceur.

33. Este tipo de patrón me parece especialmente importante, pero carecemos aquí de espacio para intentar un análisis detallado.

5. ¿VARIABILIDAD SIN LÍMITES?

¿Debemos pensar que el conocimiento matemático está determinado únicamente por las restricciones que imponen las prácticas pasadas, las tradiciones y la historia? ¿No hay ningún punto de anclaje del saber y las prácticas matemáticas fuera de las referencias culturales?

Tal punto de vista conduciría directamente al relativismo, pero resulta difícilmente compatible con la experiencia histórica. El mejor ejemplo de ello lo dan los números naturales y los sistemas de numeración registrados por historiadores, antropólogos y lingüistas. Es un rasgo universal de las culturas conocidas el disponer de numerales y prácticas de contar; muchos lingüistas consideran la capacidad de contar como parte de la habilidad lingüística universal[34].

Aunque no todas las culturas han desarrollado un sistema simbólico de numeración digno de ese nombre, esto es, apto para ser extendido ilimitadamente, no hay ningún caso en que se haya desarrollado un sistema «no estándar» que fuera incompatible con los demás. La numeración maya y la china son equivalentes a la griega antigua. Las importantes diferencias que se registran son al nivel de la base de numeración y al de los distintos principios de la notación simbólica (sumativo, multiplicativo, posicional). Pero incluso la diversidad de bases de numeración se ha explicado por relación a prácticas «naturales» de contar empleando nuestras extremidades, manos y pies. La base 60 puede explicarse considerando que el pulgar de una mano se aplica sobre las falanges de los demás dedos (lo que da un total de 12) mientras los dedos de la otra mano van indicando docenas ($5 \cdot 12 = 60$)[35].

Los estudios comparativos sobre los conocimientos matemáticos en distintas culturas sin duda resultan enormemente iluminadores. Por ejemplo, desde los años sesenta se ha venido desarrollando con intensidad creciente un campo de estudios denominado «etnomatemática», o —por usar una expresión menos elíptica— *etnografía del conocimiento matemático*. Se estudian aquí las ideas o las prácticas que encierran contenidos matemáticos en culturas de tradición oral, o bien de tradición escrita no occidentales. El brasileño Ubiratán D'Ambrosio define esta «etnomatemática» como la antropología general del pensamiento y las prácticas matemáticas comunes a un grupo de personas, ya se trate de una cultura nacional o de un grupo que compar-

34. Véase J. R. Hurford, *Language and Number*, Blackwell, London, 1987.

35. Sobre todo esto puede verse G. Ifrah, *Las cifras*, Alianza, Madrid, 1987. Las bases más comunes son 10, como en los griegos y chinos; 20, como en los mayas; 60, como en los babilonios.

te una ocupación particular[36]. Claro que esta definición tropieza con objeciones a la laxitud con que emplea la expresión «práctica matemática» (que en todo caso tiene aquí un sentido totalmente distinto que en Kitcher, *supra*, § 4.1).

Los occidentales tendemos a pensar que sólo puede hablarse de matemática cuando existe un corpus de conocimiento sofisticado, establecido como algo autónomo y diferenciado del resto de las prácticas culturales, y estructurado de manera rigurosamente deductiva. Con esta definición, y debido especialmente al último rasgo, la historia de la matemática es la historia de una práctica occidental y de su exitosísima difusión y/o imposición al resto del mundo. Ni siquiera los enormes conocimientos matemáticos de los chinos o de los babilonios podrían ser llamados así: a lo sumo, proto-matemáticos. Hoy existen, sin embargo, sofisticados y muy interesantes estudios históricos sobre la matemática china, babilonia, egipcia, etc. Tanto estos estudios como la etnomatemática optan por un concepto de «matemática» más amplio[37].

En todo caso, lo que aquí nos interesa es que estudios como los mencionados no sólo revelan enormes dosis de diversidad y pluralidad en las «prácticas matemáticas», sino que ponen de relieve también rasgos invariantes en las «prácticas matemáticas» humanas. La presencia de diversidad es cosa lógica si se tiene en cuenta que las ideas matemáticas están interconectadas de mil maneras con todo el entramado de prácticas culturales en cada sociedad. En cuanto a los invariantes, el ejemplo principal —los números naturales— ha sido ya comentado. También en todas las culturas existen ideas acerca de configuraciones espaciales, hasta el punto de que hay quien concluye que la concepción de algún *orden espacial* «es universal, si bien su expresión particular varía con y dentro de cada cultura, pudiendo cambiar con el tiempo»[38].

La aproximación histórico-social a las ideas matemáticas es ya antigua, y como hemos dicho se ha revitalizado en tiempos recientes[39].

36. Véase D'Ambrosio (1989) y también D'Ambrosio y Selin (2000).

37. Quizá sería posible introducir aquí algo de claridad distinguiendo entre «matemática», entendida como algo sistemático y sofisticado, y «conocimientos (proto-) matemáticos» concretos, no teoréticos. Necesitamos alguna forma de expresar que múltiples culturas han desarrollado conocimientos que tienen mucho que ver con nuestra matemática.

38. M. Ascher y R. Ascher, «Ethnomathematics», en Grattan-Guinness (1994, vol. 2, cap. 12.1).

39. Al menos tan antigua como el conocido capítulo sobre el sentido de los números en *La decadencia de Occidente*, de O. Spengler. Cierto entronque con ese texto tienen obras más actuales como la de D. Bloor, *Conocimiento e imaginario social* (Ge-

La polémica en este campo de estudios históricos y sociales discurre entre dos extremos: explicar el contenido de la matemática como función directa de las otras prácticas culturales (construcción social)[40]; o afirmar la plena autonomía de la actividad matemática, que pasa entonces a explicar un buen número de prácticas no matemáticas (apriorismo). Ni que decir tiene que esta dicotomía de posiciones límite no recoge todas las opciones posibles. Cerrarse en banda defendiendo uno cualquiera de esos extremos es una posición prejuzgada y simplista, que sólo puede obstaculizar la comprensión.

Afirmar que la matemática es una parte de la cultura, y que el conocimiento matemático es un producto social, no implica la tesis de que las teorías matemáticas sean meros productos culturales, o de que los únicos factores relevantes para explicar su génesis sean factores sociológicos. Es la distancia que media entre una versión débil y casi trivial de la idea de construcción social, y la versión fuerte defendida por Bloor y otros, que se basa en una hipótesis implausible y desde luego no probada. Antes bien, el caso de la matemática y sus invariantes culturales asociados parece mostrar —me atrevo a sugerir— que las culturas *no son* instancias últimas, autónomas y autosuficientes, sin entronque con la naturaleza.

Las culturas y la historia humana, incluyendo la historia matemática, son expresión de las actividades de hombres y mujeres. Su diversidad, sus grados de libertad, estarán pues limitados y restringidos por las ligaduras, del tipo que sean, que condicionen profundamente la actividad humana. Somos miembros de la especie *Homo sapiens*, «animales de lenguaje», como dijo Aristóteles, biológicos y sociales. Un medio ambiente de objetos físicos; aptitudes y necesidades biológicas; la percepción sensorial y la actuación motora; el empleo del lenguaje dentro de un entramado de vida social y actividades en común; éstas son algunas de las ligaduras que condicionan la actividad y la historia humana.

disa, Barcelona, 1998; ed. original, 1976). En una dirección antropológica, y defendiendo tesis más cercanas al sentir común de los matemáticos, encontramos trabajos como el de Wilder (1981) o el reciente de T. Crump, *La antropología de los números* (Alianza, Madrid, 1993). En nuestra lengua, un interesante trabajo reciente que se enmarca en el terreno de la sociología de la matemática es el de Lizcano (1993).

40. Un intento reciente e interesante de formular el constructivismo social ha sido realizado por Ernest (1997). Aun simpatizando con muchas de sus propuestas, me parece que su posición puede y debe ser trascendida.

6. RAÍCES NATURALISTAS

La diversidad de maneras «naturales» de emplear los dedos de manos y pies para contar, en tanto origen para las bases de numeración empleadas por las distintas culturas (base 5, 10, 20, 60), nos ofrece una buena imagen de cómo las raíces naturalistas del conocimiento restringen la variabilidad de los productos históricos. Es tentador pensar que la matemática, en sus estratos más elementales, quizá sea la mejor expresión conocida de aquello que los humanos tenemos en común, por el hecho de ser humanos. Sus raíces han de buscarse en los factores que hemos enumerado, ante todo en la intersección de percepción, actuación, lenguaje oral y lenguaje simbólico.

Empleo aquí el concepto de *raíces* en sustitución de «fundamentos», reemplazando la metáfora técnica (arquitectónica) por otra biológica. El cambio no pretende ser cosmético, sino eliminar la vieja aspiración a unos fundamentos del conocimiento establecidos apodícticamente[41]. Asumimos la idea de que no hay procedimientos fundacionales infalibles, no hay métodos especiales (filosóficos ni metamatemáticos) que aseguren un acceso privilegiado a las raíces del conocimiento matemático. Pero aun así se puede aspirar a determinarlas mediante hipótesis teóricas, juzgadas a la luz de datos históricos, antropológicos, psicológicos, lingüísticos e incluso neurobiológicos. Por adoptar esta orientación, y por enfatizar el papel de la base biológica, creo que el enfoque que vamos a esbozar merece plenamente el adjetivo de naturalista[42].

Algunas claves de este planteamiento no son en absoluto nuevas: fueron centrales en la epistemología de Piaget (cf. su obra de 1970), pueden incluso rastrearse —bajo una formulación sesgada por el empirismo— en John S. Mill, y se intenta ponerlas al día en trabajos recientes como los de Maddy, Hurford, Dehaene y otros. Lo dificultoso está en los detalles: plasmar la idea del modo adecuado, encontrar argumentos decisivos a su favor y delimitar correctamente certezas de hipótesis. Aquí sólo podremos hacer algunos comentarios sobre la manera de plantear la cuestión.

41. Por otro lado, como ya he señalado, no habría incompatibilidad entre esta búsqueda de raíces y lo que actualmente se llama «estudios de fundamentos».

42. Es importante señalar, por otro lado, que esta propuesta no aboga por un reduccionismo biológico: no planteo, por ejemplo, que el conocimiento matemático sea algo «que está en el cerebro», y esta interpretación no sólo sería errónea, sino que debilitaría esencialmente mi propuesta. Por desgracia, no hay espacio para entrar en más detalles respecto a este importante problema del reduccionismo.

Por poner un ejemplo, Kitcher (1984) sigue a Mill y comparte con él el defecto de mantener sesgos empiristas: la manipulación de objetos es importante para Kitcher, pero se esfuerza por reducirla a «percepción de objetos manipulados». Al hacer esto, perdemos la riqueza de determinaciones que aporta al sistema cognitivo la existencia de bucles y realimentaciones entre percepción y actuación[43]. Ese defecto me parece estar relacionado con el aire de inmaterialidad que presenta la doctrina de Kitcher en el siguiente punto. Según su presentación, parecería que la matemática actual entronca con elementos perceptivos ante todo en la prehistoria, a través de la cadena de transiciones entre prácticas que conduce a las prácticas primitivas. La cosa cambia cuando pensamos que la matemática entronca con elementos de percepción-actuación en la práctica de cada matemático, y más en general de cada persona que aprende a manejar los números. Podemos considerar el rico y muy sólido conglomerado de elementos prácticos que está involucrado en el uso de los números como el referente, la semántica (obviamente no formal) de la aritmética de Peano[44].

La coordinación adecuada entre habilidades motrices, perceptivas, lingüísticas y simbólicas, que es necesaria para disponer de habilidad matemática, no se logra en todos los individuos. La matemática no es como el lenguaje: no estamos preparados de forma innata para desarrollarla. A ciertos niveles, sin embargo, la coordinación relevante se logra casi siempre, como sucede con una actividad práctica tan primigenia y diferenciada como el contar (aun así, se da el caso de trastornos como la afasia numérica). Y, cuando se dispone de las habilidades relevantes, los resultados que se obtienen son de una extraordinaria claridad y gozan de las máximas garantías intersubjetivas.

La explicación naturalista de la impresionante sensación de objetividad y universalidad que nos transmite el conocimiento matemático es de este género: dicha objetividad no deriva de la existencia de objetos matemáticos independientes, sino que es *intersubjetividad*[45]. Proviene en última instancia del modo distintivamente sólido, reproducible y aprendible (en griego: *mathematikós*), en que se coordinan e interrelacionan las diversas instancias o aptitudes que, conjuntamente, permiten practicar la matemática.

43. Admitir el papel epistémico de la actuación es, desde luego, un tanto herético para un empirista (el conocimiento debía ser cosa de mentes y percepciones, nada más). La teoría del conocimiento occidental ha tendido a ignorar completamente ese papel, pero ni Piaget ni menos aun los neurobiólogos tienen ningún empacho en aceptarlo.

44. Y de algún otro sistema más abarcante: pienso por ejemplo en las fracciones.

45. La fórmula de «objetividad sin objetos» se encuentra ya en G. Kreisel o en H. Putnam.

Contar es un modo sumamente característico de hacer cosas con palabras. No es otra cosa que emplear las palabras numéricas, los numerales, coordinándolas biunívocamente por medio de actuación y percepción con objetos o fenómenos de nuestro entorno. El último numeral empleado determina la cardinalidad del grupo de objetos contado, por lo cual basta con memorizar dicho numeral. El que la coordinación se dé a través de percepción y actuación explica, de paso, por qué Frege tenía razón al indicar que los números no son sin más propiedades de las cosas, o de los grupos de cosas: una docena de flores será una o doce según el punto de vista adoptado al contar[46].

Basta la descripción que acabamos de dar para advertir cómo es esencial al contar la coordinación de diversas habilidades cognitivamente complejas. Curiosamente, sin embargo, hay evidencia fuerte de que existe una capacidad muy elemental de diferenciar pequeñas cardinalidades, la cual constituiría una habilidad básica, con clara base cerebral. Ya Penelope Maddy (1990, 61) postulaba «detectores neurales» que explicarían nuestra capacidad de percibir «algo con una propiedad numérica». Que los humanos, incluyendo infantes de menos de seis meses, y otras especies animales (palomas, ratas, chimpancés) disponen de una capacidad innata de percibir específicamente la numerosidad, para grupos muy pequeños de objetos o sonidos, es algo de lo que viene acumulándose evidencia empírica desde hace muchos años. A los estudios de psicólogos evolutivos y comparativos se han añadido recientemente los trabajos de algunos neurobiólogos: empleando técnicas de imaginería cerebral, llegan a establecer que habitualmente una región central del córtex parietal es la sede del «sentido numérico». La capacidad de percibir la numerosidad parece, pues, determinada genéticamente y habría sido implantada en la propia estructura de nuestro cerebro durante el proceso evolutivo (Dehaene 1997).

Es importante, sin embargo, hacerse conscientes de la interpretación adecuada de estos resultados. No podemos hablar todavía de números, ni mucho menos puede decirse que la aritmética esté grabada en nuestras estructuras cerebrales. Tampoco sería lícito decir que humanos y animales captan la numerosidad de «conjuntos» finitos pequeños[47], sino sólo de montones de cosas o fenómenos. Como han

46. Frege decía: según el «concepto» al que asignemos el número. No hay espacio aquí para exponer las dificultades y la falta de plausibilidad epistemológica que enfrenta la concepción fregeana de los conceptos. Tampoco para aclarar cómo los enfoques naturalistas o cognitivos pueden salvar la acusación de psicologismo.

47. Argumentos muy clásicos y todavía válidos contra ese tipo de interpretación fueron dados por Frege y Russell: la noción de conjunto es muy sofisticada y teórica,

destacado el propio Dehaene (1997) y otros, sólo estamos hablando de una aptitud para diferenciar la mayor o menor numerosidad de grupos de cosas, y de manera cada vez más borrosa según aumenta el número. El manejo de los números naturales involucra normalmente habilidades lingüísticas, como se deduce también de las imágenes cerebrales. Sólo los numerales, o bien técnicas como la de hacer muescas en varas de madera, permiten lograr precisión al determinar cardinalidades; sólo ellos permiten alcanzar cantidades mínimamente grandes.

En todo caso, tres puntos parecen hoy fuera de duda: 1) la capacidad de diferenciar cardinalidades tiene una clara base neurológica y prelingüística; 2) este «sentido numérico» innato, que incluye una aptitud muy primitiva para «sumar» numerosidades, puede ser una fuente importante de nociones numéricas básicas; 3) el desarrollo y perfeccionamiento de esas capacidades y nociones requiere el aprendizaje de las técnicas de contar. Como indicamos arriba, el número hace intervenir una multiplicidad de elementos en forma coordinada: factores neurológicos, motores y perceptivos, elementos lingüísticos y simbólicos, toda una serie de prácticas y técnicas.

Hemos hablado antes del contar en sentido estricto, actividad que sólo requiere la intervención del lenguaje oral (mucho más conveniente que el recurso a varas de madera): la serie de los números, obtenida por aplicación iterada de unas cuantas reglas fijas, actúa como una especie de vara de medir portátil, que podemos desplegar en cualquier momento y lugar. Hasta donde sabemos, sin embargo, no ha habido una matemática mínimamente sistemática que no dependiera del empleo del lenguaje escrito, de símbolos y también de gráficos. Aquí interviene el complejo de elementos que tiene que ver con la escritura. En nuestros símbolos numéricos indo-arábigos se integran dos actividades complejas de percepción-actuación: el contar y el calcular.

Es natural especular con la posibilidad de que mecanismos similares, con una base corporal y neurológica relacionada con los circuitos de percepción-actuación, expliquen también la disponibilidad de una base «intuitiva» elemental para las nociones espaciales y geométricas. Todavía hay muy pocos estudios sobre esta cuestión, pero podemos afirmar que también en este caso será decisivo tener en cuenta la sutil cuestión de cuál es la delimitación adecuada entre lo «dado» biológicamente, lo añadido y lo hipotético. ¿Qué estratos de la geometría

pese a lo que digan divulgadores y autores de manuales. Maddy (1990), aunque consciente de estas sutilezas, habla de «conjuntos», causando sin duda equivocaciones en sus lectores.

podrían considerarse inequívocamente ligados a esos mecanismos? Cabe esperar que la respuesta sea compleja, por ejemplo que lo «natural» incluya aspectos métricos (¿también el paralelismo euclideo?) y a la vez excluya conceptos topológicos básicos como el continuo.

7. HIPÓTESIS Y CERTEZAS

La intervención del lenguaje y de lo simbólico abre la vía que conduce a la aparición de elementos hipotéticos. En efecto, el lenguaje permite establecer generalizaciones, lo cual ya es un paso adelante de capital importancia: hablar de números cualesquiera, inclusive los que nunca llegaremos a contar, y estudiar sus propiedades. Pero, más aún, el lenguaje permite plantear idealizaciones, que en el caso de la matemática son «ficciones» bien fundadas sobre las bases elementales de las que hemos hablado en el apartado anterior[48].

Con respecto a las generalizaciones sobre los números naturales, no hay duda de que introducen ya un grado elemental de idealización, pero es perfectamente posible justificarlas en relación a las prácticas de las que hemos hablado antes. Esto es, precisamente, lo que sucede en el enfoque constructivo de Lorenzen, con su interpretación dialógica de los símbolos lógicos[49]. Los axiomas de Peano son correctos respecto a las potencialidades de los sistemas numéricos de las culturas humanas, como también —y no es lo mismo— respecto a nuestras prácticas de contar. Esto nos conduce a afirmar que la aritmética de los números naturales cae en el dominio de lo cierto y no en el de lo hipotético.

Pero, como hemos dicho, más importantes son otros grados avanzados de idealización. Mencionemos tan sólo dos idealizaciones que se cuentan entre las más importantes: *a*) la hipótesis que consiste en suponer dada la totalidad $\mathbb{N}$ de los números como un conjunto completo, como un nuevo objeto; *b*) la hipótesis de que está dada la totalidad de los posibles subconjuntos de $\mathbb{N}$, ya sean definibles o no. La hipótesis *a* viene a ser el axioma de infinitud en teoría de conjuntos, y sería natural formularla de un modo algo más general, postulando

48. Y, en general, en niveles posteriores de desarrollo, idealizaciones fundadas sobre sistemas matemáticos ya constituidos, bien por hibridación, bien por tematización y generalización, etc. (empleo aquí conceptos que se han mencionado en el § 4.2). Pero no hay aquí espacio para profundizar en este tema.

49. Cf. Lorenzen (1971, cap. II). Existen también otras justificaciones (no indubitables, es decir, no fundacionales) de tipos muy diversos: formalistas al estilo Gentzen, predicativas al de Weyl.

la existencia de todo conjunto definible de números naturales (subconjunto de ℕ definible): por ejemplo, el de los números pares, el de los primos, o el de los múltiplos de 391. La hipótesis *b* es un caso particular pero muy importante del axioma del conjunto potencia, que nos conduce ya al problema de la conjetura cantoriana del continuo.

Podemos ahora aclarar en qué sentido se trata de ficciones bien fundadas, y es que un buen número de propiedades de los nuevos «objetos» así postulados no son en absoluto arbitrarias. En virtud de las propiedades de los números naturales, se hace necesario asumir que el conjunto ℕ y el conjunto de los números pares son equipotentes (que sus elementos admiten ser coordinados biunívocamente). Análogamente, no es arbitrario sino necesario asumir que el conjunto potencia de ℕ tiene más elementos que el propio ℕ (siempre, claro está, que estemos considerando subconjuntos arbitrarios o —como también se dice— cuasi-combinatorios). Ahora bien, la decisión respecto a la cardinalidad exacta de $\wp(\mathbb{N})$ quizá esté en nuestro arbitrio.

También los sistemas numéricos más avanzados han de considerarse como sistemas hipotéticos. Esto sucede en especial con los números reales, que, se les mire por donde se les mire, llevan la marca indeleble del infinito actual. También con los espacios geométricos estamos en un terreno distinto al de los números naturales. Muchos rasgos de la geometría euclidea (incluyendo la idea de continuidad, por lo que lo dicho afecta también a la topología) han de calificarse —según creo— de hipotéticos. Aquí, los elementos hipotéticos completan y dan precisión conceptual a fenómenos firmemente enraizados en nuestras experiencias de percepción y actuación, pero en cierto modo indeterminados, como es —en mi opinión— el caso del movimiento «continuo», origen último de la continuidad que atribuimos al espacio.

Otras fuentes de certeza en matemática se encuentran en el marco de la lógica y las relaciones de consecuencia. Aunque la práctica matemática sea —según hemos visto— algo más amplio en extensión y profundidad, los sistemas axiomáticos son una expresión fundamental del conocimiento matemático. Al demostrar resultados y perfeccionar el procedimiento deductivo hasta lograr sistemas axiomáticos formalizados, los matemáticos establecen con certeza qué se sigue de qué. Por más que algunos de los axiomas tengan carácter hipotético, *es cierto* que de ellos se siguen determinadas conclusiones[50]. Tras

50. Esquivamos aquí el problema de las lógicas alternativas: al decir lo anterior pienso en el marco lógico habitual de primer orden. Se podría argumentar a favor de este marco considerando el papel de la matemática en la teorización científica, o también desde el punto de vista de los estudios de fundamentos.

los desarrollos de la lógica en el siglo XX, nuestra certeza al emitir juicios positivos de derivabilidad puede considerarse plena. Otra cosa son los juicios negativos, mucho más peligrosos, ya que casi siempre resulta imposible tener en cuenta todas las conceptualizaciones y teorías alternativas[51].

En resumidas cuentas, cabe pensar que la interrelación particularmente estrecha entre lo cierto y lo hipotético está en el origen de la peculiar objetividad y ausencia de arbitrariedad que distingue al conocimiento matemático. Justamente el denso entrelazamiento entre lo cierto y lo hipotético que se da en la matemática, la manera en que se introducen idealizaciones, hipótesis o «ficciones» bien fundadas sobre elementos antecedentes, es lo que asegura un rico desarrollo histórico, no previsible pero a la vez de arbitrariedad muy limitada. Según vimos, la matemática nos enfrenta con una objetividad sin objetos autónomos; también da muestras de una apariencia de necesidad que, observada más de cerca, bien puede reducirse a una peculiar limitación del arbitrio.

BIBLIOGRAFÍA

Barbin, E. y Caveing, M. (eds.) (1996), *Les philosophes et les mathématiques*, Ellipse, Paris.

Benacerraf, P. (1973), «Mathematical Truth»: *Journal of Philosophy* 70, reimpr. en P. Benacerraf y H. Putnam (eds.), *Philosophy of Mathematics: Selected readings*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

Bernays, P. (1935), «Sur le platonisme dans les mathématiques»: *L'Enseignement Mathématique* 34. Versión alemana en Bernays, *Abhandlungen zur Philosophie der Mathematik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1976; inglesa en P. Benacerraf y H. Putnam, *Philosophy of Mathematics: Selected readings*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

Cavaillès, J. (1962), *Philosophie mathématique*, Hermann, Paris.

Corfield, D. (1997), «Assaying Lakatos's philosophy of mathematics»: *Studies in History and Philosophy of Science* 28, 99-121.

D'Ambrosio, U. (1989), «On ethnomathematics»: *Philosophia Mathematica* 4, 3-14.

D'Ambrosio, U. y Selin, H. (eds.) (2000), *Mathematics across cultures. The history of non-Western mathematics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Dehaene, S. (1997), *The Number Sense: How the mind creates mathematics*, Oxford University Press, Oxford.

51. Esto es, qué no es posible rescatar de modo riguroso: pensemos en los infinitésimos y el análisis no estándar.

De Lorenzo, J. (1977), *La matemática y el problema de su historia*, Tecnos, Madrid.
De Lorenzo, J. (1993), «La razón matemática constructiva y sus haceres»: *Mathesis* 9, 129-153.
Echeverría, J. (1992), «Observations, Problems, and Conjectures in Number Theory – The History of the Prime Number Theorem», en J. Echeverría, A. Ibarra y T. Mormann (eds.), *The Space of Mathematics. Philosophical, Epistemological, and Historical Explorations*, De Gruyter, Berlin, 1992, 230-252.
Echeverría, J. (1995), «Métodos empíricos en matemáticas: La conjetura de Riemann como ejemplo»: *Arbor* 152 (600), 77-100.
Ernest, P. (1997), *Social Constructivism as a Philosophy of Mathematics*, Suny Press, Albany, New York.
Feferman, S. (1998), *In the Light of Logic*, Oxford University Press, Oxford.
Ferreirós, J. (1999), «Matemáticas y platonismo(s)»: *La Gaceta de la Real Soc. Mat. Esp.* 2, 446-473.
Gödel, K. (1980), *Obras completas*, ed. de J. Mosterín, Alianza, Madrid. Cf. la edición en 3 vols. bajo la dirección de S. Feferman, Oxford University Press, 1986-1995.
Grattan-Guinness, I. (ed.) (1994), *Companion Encyclopedia to the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*, Routledge, London, 2 vols.
Heijenoort, J. van (ed.) (1967), *From Frege to Gödel: A source book in mathematical logic*, Harvard University Press, Cambridge.
Hernández, J. (1992), «Sobre la filosofía de las matemáticas de Imre Lakatos»: *Mathesis* 8, 459-477.
Hilbert, D. (1926), «Sobre el infinito», versión parcial en apéndice VIII a *Fundamentos de la geometría*, CSIC, Madrid, 1991. Traducción inglesa completa en J. van Heijenoort (ed.), *From Frege to Gödel: A source book in mathematical logic*, Harvard University Press, Cambridge, 1967.
Kitcher, P. (1984), *The Nature of Mathematical Knowledge*, Oxford University Press, Oxford.
Kitcher, P. (1988), *Mathematical Naturalism*, en W. Aspray y P. Kitcher (eds.), *History and Philosophy of Modern Mathematics*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1988, 293-325.
Lakatos, I. (1967), «¿Un renacimiento del empirismo en la reciente filosofía de la matemática?», en Íd., *Matemáticas, ciencia y epistemología*, Alianza, Madrid, 1981.
Lakatos, I. (1976), *Pruebas y refutaciones. La lógica del descubrimiento matemático*, Alianza, Madrid, 1978.
Lizcano, E. (1993), *Imaginario colectivo y creación matemática. La construcción social del número, el espacio y lo imposible en China y en Grecia*, Gedisa/UAM, Barcelona.
Lorenzen, P. (1971), *Metamatemática*, Tecnos, Madrid.
Maddy, P. (1990), *Realism in Mathematics*, Oxford University Press, Oxford.
Maddy, P. (1998), *Naturalism in Mathematics*, Oxford University Press, Oxford.
Mazur, B. (1997), «Conjecture»: *Synthese* 111, 197-210.

Piaget, J. (1970), *La epistemología genética*, Debate, Madrid.

Quine, W. V. O. (1951), «Dos dogmas del empirismo», en Íd., *Desde un punto de vista lógico*, Ariel, Barcelona, 1962, 49-81.

Quine, W. V. O. (1969), «Naturalización de la epistemología», en Íd., *La relatividad ontológica*, Tecnos, Madrid, 1974.

Riemann, B. (1868), «Sobre las hipótesis en que se funda la geometría», en J. Ferreirós (ed.), *Riemanniana Selecta*, CSIC, Madrid, 2000, 2-18.

Tymoczko, Th. (ed.) (1998), *New Directions in the Philosophy of Mathematics*, Princeton University Press, Princeton (ed. rev. y ampl., con suplemento bibliográfico de J. Alcolea).

Weyl, H. (1927), *Diskussionsbemerkungen zu dem zweiten Hilbertschen Vortrag über die Grundlagen der Mathematik*. Versión inglesa en J. van Heijenoort, 1967, 480-484.

Weyl, H. (1951), *Filosofía de la matemática y de la ciencia natural*, UNAM, México, 1965. También en la revista *Mathesis*, 1 (1985); 2 (1986); 3 (1987).

Wilder, R. L. (1981), *Mathematics as a Cultural System*, Pergamon Press, Oxford.

ESPACIO Y TIEMPO EN LA FÍSICA DE EINSTEIN

Roberto Torretti

1

La física moderna, matemática y experimental, fundada por Newton y perfeccionada por Euler, Lagrange, Laplace, Fourier, Hamilton, Helmholtz, Kelvin y Maxwell, entre otros, concibe la naturaleza como una cantidad fija de materia que se mueve eternamente en el espacio infinito. Newton le señaló su tarea así: «Partiendo de los fenómenos del movimiento, investigar las fuerzas de la naturaleza, y luego, partiendo de estas fuerzas, demostrar los demás fenómenos». Se trata, por cierto, de investigar las fuerzas existentes, que causan cambios efectivos en el movimiento real —y no sólo aparente— de los cuerpos. Éste consiste, según Newton, en su desplazamiento en el espacio «absoluto, verdadero y matemático» en el curso del tiempo «absoluto, verdadero y matemático». Por otra parte, como Newton mismo anota, nuestra descripción precisa de los fenómenos del movimiento tiene que referirlos al espacio «relativo, aparente y vulgar» determinado por un cuerpo rígido que se adopta como estándar (por ejemplo, el triedro formado por las paredes y el piso de un laboratorio) y al tiempo «relativo, aparente y vulgar» medido por un movimiento reputado regular (por ejemplo, la rotación de la tierra).

El abismo entre la verdad absoluta y matemática que se trata de conocer y la apariencia relativa y vulgar que nos es accesible sería infranqueable —y el proyecto de la física moderna habría nacido muerto— de no mediar las dos circunstancias siguientes: 1) La primera «ley del movimiento» postulada por Newton —el llamado *principio de inercia*— garantiza la uniformidad de ciertos movimientos que, por lo tanto, constituyen relojes naturales. 2) Las leyes newtonianas

del movimiento implican que las relaciones entre movimientos en el espacio absoluto son formalmente idénticas a las relaciones entre movimientos referidos a un cuerpo rígido que se mueve conforme a la primera ley, de modo que basta estudiar éstas para averiguar las leyes y las fuerzas de que dependen aquéllas. Hacia fines del siglo XIX, Carl Neumann, Ludwig Lange y James Thomson aprovecharon estas dos características de la teoría de Newton para eliminar el espacio y el tiempo absolutos de entre los conceptos fundamentales de la física. En vez del tiempo absoluto, Neumann (1870) propone la *escala de tiempo inercial*, en la cual dos lapsos de tiempo t_1 y t_2 son iguales si y sólo si una partícula libre recorre en ambos distancias iguales. En vez del espacio absoluto, Thomson (1884) y Lange (1885) —independientemente— proponen el *marco de referencia inercial*, en cuyo espacio tres partículas libres que salen de un punto en tres direcciones diferentes trazan líneas rectas.

La mayoría de los filósofos se resiste a aceptar que la fantasía metafísica pueda tan fácilmente ceder su lugar en la base misma de la física a lo que a fin de cuentas no son más que estipulaciones convencionales. Pero no hay que perder de vista que se trata aquí de convenciones *bene fundatae*, acordadas en vista del comportamiento efectivo de las cosas: una vez que se ha elegido como estándar del tiempo el movimiento de *una* partícula libre, *cualquier otra* partícula libre se mueve a velocidad constante según la escala inercial adoptada; una vez que se ha fijado un marco de referencia inercial mediante *tres* partículas libres, *cualquier otra* partícula libre se mueve con respecto a él en línea recta; más aún, *cualquier otro* conjunto análogo de tres partículas libres determina otro marco inercial equivalente al primero.

Con todo, las nuevas definiciones dejan una importante laguna sin llenar. Un observador que viaje con una partícula libre puede utilizar hitos equidistantes en su camino para determinar, conforme a la escala de tiempo inercial, la hora en que pasa frente a cada uno de ellos; pero ésta es, en cada ocasión, la hora ahí, en el lugar donde se encuentra. Newton escribió una vez que «cada instante del tiempo se difunde de suyo por todo el espacio universal» (Hall y Hall 1962, 104); pero quien no comparta esta oscura creencia metafísica tendrá que reconocer, con James Thomson, que la hora establecida en un lugar sólo puede difundirse a otros por medio de señales. Sin embargo, parecería que cualquier método de señalización producirá aproximadamente los mismos resultados, y —teniendo en cuenta la inevitable imprecisión de las observaciones— Thomson se dio por satisfecho con esta apariencia.

2

Está claro entonces que, diga Newton lo que diga, su mecánica no dispone de un estándar absoluto de movimiento y reposo: conforme a sus principios, no es posible distinguir entre el reposo real y el movimiento uniforme y rectilíneo. Pero el siglo XIX creyó hallar un sucedáneo del espacio absoluto en el éter luminífero, el medio a la vez rígido y elástico que se suponía portador de las ondas de luz. El persistente fracaso de las hipótesis propuestas para explicar su naturaleza no impidió a los científicos perseverar en la postulación de su existencia con la tozuda fe del carbonero. Con la electrodinámica de Maxwell, que incorpora la luz en un vasto espectro de ondas electromagnéticas de todas las frecuencias concebibles, parece confirmarse definitivamente la necesidad de referir al éter todos los movimientos. En las ecuaciones de Maxwell figura una constante c, con la dimensión de una velocidad, que resulta ser igual a la velocidad de la luz en el vacío. ¿A qué sino al éter puede estar referida esta velocidad? Por otra parte, la velocidad de una partícula eléctricamente cargada contribuye a determinar la magnitud y dirección de la fuerza que ejerce sobre ella el campo magnético. Ello supone, obviamente, que dicha velocidad esté referida a un estándar de reposo, el cual, al parecer, no podría ser otro que el éter, en que dicha fuerza se asienta. Un primer paso necesario para acceder al estándar y hacer de él nuestro marco universal de referencia sería medir la velocidad con que nuestro planeta se desplaza a través del éter en cada momento.

Llamemos V a la velocidad de la tierra en el éter. Si el sol reposa en el éter, V oscila alrededor de los 30.000 m/s; si también el sol se mueve, el valor medio de V podría ser mucho mayor. Sin embargo, como Einstein recuerda al comienzo de su artículo sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (1905*r*), todos los intentos de medir la velocidad V daban un resultado negativo. Sea c la velocidad relativa al éter de una señal luminosa (de aquí en adelante ha de entenderse que cualquier señal luminosa de que hablemos se propaga en el vacío). Hasta 1881, los experimentos para medir la velocidad de la tierra en el éter solo eran capaces de revelar efectos del orden del cociente V/c. El resultado negativo de los experimentos se explicaba entonces fácilmente, pues, según la teoría ondulatoria de la luz, los términos de este orden de magnitud se cancelan entre sí. El interferómetro inventado ese año por A. A. Michelson era sensible a efectos del orden de $(V/c)^2$, pero no los puso de manifiesto (Michelson y Morley, 1887). Otro experimento (Michelson y Morley, 1886) forzaba a descartar la hipótesis —adelantada por Stokes— de que el éter es

arrastrado por la atmósfera terrestre. G. F. Fitzgerald y H. A. Lorentz conjeturaron entonces que, al moverse a través del éter, los cuerpos rígidos se contraen de tal modo que su dimensión paralela al movimiento se multiplica por $\sqrt{1-(V/c)^2}$. La diferencia resultante entre las longitudes de los dos brazos perpendiculares de que consta el interferómetro de Michelson explicaría entonces el resultado negativo de su experimento. Una lectura atenta de los escritos más maduros de Lorentz indica que contienen implícita una tesis análoga sobre la marcha de los relojes: cuando se mueven a través del éter el tiempo transcurrido según ellos se dilata en la proporción de $1:\sqrt{1-(V/c)^2}$.

Einstein (1905*r*) aborda esta dificultad de un modo completamente distinto. En lugar de recurrir a hipótesis cuya justificación demandaría un conocimiento de la microestructura de la materia que nadie pretendía tener, postula dos principios que, según él, son un epítome de los fenómenos. Según el *principio de relatividad*, si R es un sistema de referencia relativamente al cual cualquier partícula libre reposa o se mueve uniformemente en línea recta, esto es, si R es —como diré en adelante— un *marco inercial de referencia*, y R′ es un sistema de referencia que se mueve uniformemente en línea recta respecto a R, R′ es también un marco inercial de referencia y ningún experimento de física permite establecer que uno de ellos reposa mientras que el otro se mueve. Según el *principio de la constancia de la velocidad de la luz* respecto a un marco inercial —y, por ende, según el principio de relatividad, respecto a todos ellos—, una señal luminosa se propaga siempre con la misma velocidad *c*, no importa cuál sea la velocidad de la fuente emisora.

No es fácil sustraerse a la impresión de que estos dos principios son incompatibles. Consideremos dos marcos inerciales R y R′, tales que R′ se mueve respecto a R en una dirección fija con velocidad uniforme igual a *v*. Supongamos que una fuente en reposo en el punto *O* de R emite en todas direcciones un pulso de luz en el instante en que *O* coincide con el punto *O′* de R′. Trascurrido un lapso de tiempo *T* después de ese instante, el frente de la onda luminosa emitida llenará una esfera con centro en O y radio $r = c/T$. En ese momento, el punto *O′* está separado de O por una distancia igual a v/T. Sin embargo, según el principio de relatividad, el frente de la onda también debe llenar en ese preciso momento una esfera con radio $r = c/T$ pero con su centro en *O′*. Evidentemente, esto no puede ser.

Einstein mostró que la incompatibilidad entre ambos principios es sólo aparente. El razonamiento presentado en el párrafo anterior

presupone que, si la luz se propaga en R y R′ con la misma velocidad *c* y la onda luminosa salió de *O* cuando este punto de R coincidía con el punto *O*′ de R′, el frente de la onda llegará simultáneamente a todos puntos de R que distan *c*/*t* de *O* y a todos los puntos de R′ que distan *c*/*t* de *O*′. Pero este supuesto ni siquiera tiene sentido mientras no se tenga un criterio para juzgar si eventos que ocurren en distintos puntos del espacio son o no simultáneos entre sí. Como bien vio James Thomson, la física newtoniana nunca fijó tal criterio. Einstein (1905*r*, §1) propone dos. El primero es muy simple: la recepción *E*, aquí y ahora, de una señal luminosa se reputa simultánea con la emisión *F* de esa señal desde otro lugar. Einstein rechaza este criterio porque depende del lugar de recepción adoptado como punto de referencia[1]. Adopta en cambio el segundo criterio, que no es mucho menos simple. Con arreglo a este criterio, un evento *E* ocurrido en un punto *O* de un marco inercial R se reputará simultáneo con un evento *F* ocurrido en otro punto *P* de R si y sólo si *F* coincide con la recepción y reemisión en *P* de una señal luminosa *S* emitida en *O* y el tiempo trascurrido entre la emisión de *S* y el evento *E* es igual al tiempo transcurrido entre *E* y la recepción en *O* de *S* después que rebotó en *P*. Por lo tanto, si la coordenada temporal de la emisión de *S* en *O* es t_1 y la de la recepción de *S* en *O* es t_2, la coordenada temporal de *F* es $\frac{1}{2}(t_2 - t_1)$. Este criterio de simultaneidad entre eventos distantes, aunque convencional, está respaldado por la naturaleza de las cosas. Como Einstein se adelanta a señalar, el criterio es viable porque no depende ni del lugar desde donde se emite la señal *S* ni del momento en que se la emite. Si aplicamos el método descrito para sincronizar mediante la señal *S* un conjunto de buenos relojes que reposan en diferentes puntos del marco inercial R, esos relojes seguirán sincronizados —dentro de límites de error admisibles— si el mismo método vuelve a aplicarse usando otra señal emitida más tarde desde el mismo lugar o desde otro lugar diferente de R. Llamaremos *tiempo de Einstein adaptado a* R a la coordenada temporal definida de este modo. Dos tiempos de Einstein adaptados a un mismo marco inercial pueden diferir a lo sumo por una traslación (que desplaza el 0 del tiempo) y un cambio en la unidad de medida; por lo tanto, ambos determinan la misma partición de todos los eventos en clases de eventos simultáneos.

1. Hay otro inconveniente que Einstein no menciona. Si el tiempo se define de acuerdo con este criterio en todos los puntos de un marco de referencia R, éste *no es un marco inercial* en nuestro sentido de la palabra: las partículas libres sufren un cambio discontinuo de velocidad al pasar por el punto de referencia señalado.

Atendamos nuevamente al caso del pulso de luz emitido desde *O* en R cuando este punto coincide con el punto *O′* del marco R′ que se mueve respecto a R con velocidad constante. Una breve reflexión bastará para convencernos de que la llegada del frente de la onda a cada punto de la esfera de radio *r* y centro *O* fija en R, que es simultánea según el tiempo de Einstein adaptado a R, no puede ser simultánea según el tiempo de Einstein adaptado a R′, mientras que su llegada a cada punto de la esfera de radio *r* y centro *O′*, simultánea según el tiempo de Einstein adaptado a R′, no puede serlo según el tiempo de Einstein adaptado a R. Puede entonces darse el caso de que tres eventos *A*, *B* y *C* sean simultáneos según el tiempo de Einstein adaptado a R, mientras que *A* precede a *B* y *B* precede a *C* según el tiempo de Einstein adaptado a R′. Esta comprobación disuelve la apariencia de que el principio de relatividad y el principio de la constancia de la velocidad de la luz son incompatibles. Pero indica también que su afirmación conjunta, demandada por la experiencia, supone por otra parte un cambio muy grande en la concepción ordinaria del tiempo: la *simultaneidad* y la *sucesión temporal* de los eventos pasan a ser *relativas al marco inercial* al que esté referida su descripción.

Este resultado tiene numerosas consecuencias a primera vista paradojales. Veamos algunas. Sean, como antes, R y R′ dos marcos inerciales y *v* la magnitud de la velocidad relativa con que cada cual se mueve relativamente al otro. Sean *t* y *t′* tiempos de Einstein adaptados respectivamente a R y R′, que miden el tiempo en la misma unidad y asignan ambos el 0 a cierto evento *E* que ocurre en el punto *O* de R cuando este punto coincide con el punto *O′* de R′. Sea *E** un evento que ocurre más tarde en *O* cuando éste coincide con otro punto *P′* de R′. Entonces la coordenada *t*(*E**) que *t* le asigna a *E** típicamente difiere de la coordenada *t′*(*E**) que le asigna *t′*. Se puede demostrar que $t'(E^*) = t(E^*)\Big/\sqrt{1-(v/c)^2}$. Supongamos que *E* y *E** son el comienzo y el fin de un proceso que trascurre en *O*. Es claro que este proceso dura menos en el tiempo de Einstein adaptado al marco de referencia R en que *O* reposa que en el adaptado al marco de referencia R′ en que *O* se mueve. Más aún, cualquiera que sea la duración del proceso según el tiempo de R, su duración según el tiempo de R′ crece sin límite a medida que la velocidad con que *O* se mueve en este marco de referencia se aproxima a la velocidad de la luz. Un resultado análogo afecta a las distancias. Sean *O* y *P* dos puntos que reposan en R. En aras de la simplicidad, supondremos que la recta que los une es paralela al movimiento de R en R′. La distancia entre

O y *P* en R se determina, por ejemplo, colocando varas de medir en reposo a lo largo de esa recta. Pero ¿cómo medir la distancia entre O y *P* en R′? Un método razonable es éste: marcar dos posiciones simultáneas de *O* y *P* en R′ y medir la distancia entre ellas con varas de medir que reposan en R′. Se puede demostrar entonces que, si λ es la distancia entre O y *P* en R y λ′ es la distancia, así determinada, entre *O* y *P* en R′, $\lambda' = \lambda\sqrt{1-(v/c)^2}$. A medida que *v* se aproxima a la velocidad de la luz, la distancia λ′ tiende a 0.

El lector atento habrá advertido que, si *O* y *P* son los extremos de uno de los brazos del interferómetro de Michelson, la longitud de ese brazo, medida en un marco de referencia en que este brazo se mueve, en la dirección de O a *P*, con velocidad *V*, es menor que la longitud del mismo brazo en reposo en exactamente la proporción prevista por Fitzgerald y Lorentz. Pero bajo la nueva perspectiva abierta por Einstein, no nos hallamos ante un proceso material de contracción, causado por una fuerza desconocida, sino sólo ante una diferencia de valor entre dos cantidades diferentes, a saber, la distancia permanente entre los extremos del brazo en el marco inercial en que reposa y la distancia entre dos posiciones simultáneas de esos extremos en el marco de referencia en que el brazo se mueve longitudinalmente con velocidad *V*. Como estas dos posiciones no son simultáneas en el otro marco de referencia, esas dos cantidades no tienen por qué ser iguales. También habrá advertido el lector que la proporción $1:\sqrt{1-(V/c)^2}$ en que —según tuvimos que atribuirle a Lorentz— se retardaría la marcha de un reloj que se mueve en el éter con velocidad *V* es exactamente igual a la proporción $t'(E^*):t(E^*)$ entre las duraciones de un mismo proceso según el tiempo *t′* adaptado a un marco inercial en que el lugar donde el proceso sucede se moviera con velocidad *V* y según el tiempo *t* adaptado a un marco inercial en que dicho lugar reposa. Pero bajo la perspectiva abierta por Einstein, no se trata de una alteración en el funcionamiento de los relojes causada por su movimiento, sino de una diferencia en las cantidades que los relojes están llamados a medir y que suponemos que en cada caso miden bien.

La afirmación conjunta de los dos principios de Einstein permite acoger sin cambios las leyes de la electrodinámica clásica referidas indiferentemente a cualquier marco inercial (y no sólo, como se pensaba, al marco de referencia en que reposa el éter). Pero obliga a introducir modificaciones en las leyes clásicas de la mecánica. La nueva mecánica relativista hace prácticamente las mismas predicciones que

la newtoniana cuando se trata de cuerpos que se mueven lentamente respecto al marco inercial de referencia elegido, pero sus predicciones son muy diferentes cuando las velocidades en juego se acercan a *c*. Además la reforma de la mecánica alteró profundamente algunos conceptos. Mientras que en la mecánica newtoniana la inercia —esto es, la resistencia que un cuerpo material opone a sus cambios de velocidad— tiene un valor fijo igual a lo que Newton llamaba la *cantidad de materia* contenida en ese cuerpo y que más tarde se llamó su *masa*, en la mecánica relativista dicha inercia depende de la misma velocidad v que se trata de cambiar, de acuerdo con la fórmula:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \qquad (1)$$

donde m_0 mide la resistencia que el cuerpo opondría a cualquier intento de sacarlo del reposo, esto es, su inercia relativa al marco inercial en que reposa momentáneamente. De aquí se sigue inmediatamente que la inercia de los cuerpos supera todo límite asignable cuando v se acerca a c, un fenómeno verificado hasta la saciedad en los aceleradores de partículas y que suele citarse como la prueba más palpable del acierto de Einstein. En tales condiciones es obviamente imposible que una partícula masiva alcance la velocidad de la luz.

3

Años más tarde, en varios escritos didácticos, Einstein señaló una asimetría en el tratamiento del espacio y del tiempo por la física newtoniana. Todos sus forjadores habrían reconocido sin vacilar que el *lugar* en que ocurren dos eventos sucesivos sólo puede identificarse —o distinguirse— relativamente a un marco de referencia[2]; pero ninguno de ellos pensó que el *instante* en que ocurren dos eventos distantes tampoco se puede identificar —o distinguir— salvo con respecto a tal marco de referencia. Al tomar conciencia de esta similitud entre la coincidencia temporal o simultaneidad entre eventos y su coinciden-

2. Relativamente a la península Ibérica, la Plaza de Armas de Santiago de Chile está hoy en el mismo lugar que le asignó don Pedro de Valdivia el 12 de febrero de 1541. Relativamente al marco de referencia determinado por las estrellas fijas, retorna a ese lugar una vez al año. Pero relativamente a un marco comóvil con la radiación cósmica de fondo se aleja de allí a gran velocidad desde hace casi cinco siglos.

cia espacial o isotopía, Einstein abrió paso a la concepción del espacio y el tiempo combinados en un *espaciotiempo* que comúnmente asociamos a su teoría de la relatividad. Sin embargo, no fue él quien la introdujo, sino Hermann Minkowski, que había sido uno de sus profesores de matemáticas en el Politécnico de Zúrich y a la sazón era colega de Felix Klein y David Hilbert en la Universidad de Gotinga.

A quien contempla de noche desde una torre de vigilancia junto a un cruce de autopistas los vehículos que transitan velozmente por ambas y pasan de una a otra por un trébol le parece mucho más natural concebir lo que ve como un solo haz de historias continuas que como una infinitud de instantáneas tomadas sucesivamente a un recipiente atemporal de contenido cambiante. Pero en 1900, aunque el automóvil y el cinematógrafo ya se habían inventado, la concepción física del acontecer seguía dominada por la experiencia común de cuerpos casi rígidos y aparentemente inmóviles —muros, techos, suelo— entre los que reposamos o nos movemos lentamente. De ahí en parte la insistencia en utilizar, para la representación del acontecer físico, dos continuos distintos, respectivamente de una y de tres dimensiones, y la resistencia a combinarlos en uno solo de cuatro, como propuso más de alguien en los siglos XVII y XVIII. Tal propuesta era inevitable después que matemáticos y físicos adoptaron la representación de los lugares del espacio mediante coordenadas introducida por Descartes (1637). Un sistema de coordenadas cartesianas x, y, z asigna en forma exclusiva a cada punto espacial P un triple de números reales $\langle x(P),y(P),z(P)\rangle$ iguales a las distancias desde P a los tres planos ortogonales de un triedro de referencia, precedidas por el signo + o el signo – según a qué lado del plano correspondiente se encuentre P. Como la práctica de asignar números a sucesos estaba establecida desde la Antigüedad no sólo entre los historiadores, sino también y con mayor precisión entre los astrónomos, tiene que haber parecido obvio que un evento E que ocurre en un lugar P puede representarse inequívocamente mediante cuatro números reales, a saber, la coordenada temporal $t(E)$ y las coordenadas espaciales $x(E) = x(P)$, $y(E) = y(P)$, y $z(E) = z(P)$. Pero en el contexto de la física newtoniana este cuádruplo numérico se deja analizar naturalmente y de un solo modo en dos componentes, el tiempo $t(E)$ y las coordenadas de posición $\langle x(E),y(E),z(E)\rangle$, como ahora veremos.

En el resto de esta § 3 consideraremos sistemas alternativos de coordenadas, t, x, y, z y t', x', y', z', que representan el tiempo medido en segundos y las distancias medidas en metros. Requerimos además que las coordenadas t y t' crezcan ambas en la dirección del futuro y que las x, y, z y x', y', z' sean coordenadas cartesianas definidas con

respecto a marcos inerciales de referencia R y R′, respectivamente (ver § 1), y que crecen en la dirección del pulgar (las x), el índice (las y) y el cordial (las z) de una mano derecha con estos tres dedos abiertos formando ángulos rectos entre ellos. Bajo estos supuestos, la *transformación de coordenadas* que determina las coordenadas t', x', y', z' de cualquier evento E en función de las coordenadas t, x, y, z del mismo evento pertenece a una de las tres clases descritas a continuación o resulta de la aplicación sucesiva de dos o más transformaciones de estas clases.

I. R y R′ reposan el uno respecto al otro y pueden tratarse como idénticos. El segundo sistema de coordenadas se obtiene por *traslación* del origen del primero. Entonces:

$$\begin{aligned} t' &= t+c_t \\ x' &= t+c_x \\ y' &= y+c_y \\ z' &= z+c_z \end{aligned} \tag{2}$$

donde las constantes c_t, c_y, c_y y c_z son los parámetros característicos de las traslación.

II. R y R′ reposan el uno respecto al otro y los orígenes temporal y espacial de ambos sistemas coinciden. El segundo se obtiene por *rotación* del primero en torno a su origen. Entonces:

$$\begin{aligned} t' &= t \\ x' &= a_{11}x+a_{12}y+a_{13}z \\ y' &= a_{21}x+a_{22}y+a_{23}z \\ z' &= a_{31}x+a_{32}y+a_{33}z \end{aligned} \tag{3}$$

donde las constantes a_{ij} $(1 \leq i, j \leq 3)$, con $a_{ij} = a_{ji}$, son los parámetros de la rotación.

III. El origen temporal de ambos sistemas coincide. En el instante $t = t' = 0$ coinciden también sus orígenes espaciales y los ejes de las x, las y y las z apuntan respectivamente en las mismas direcciones que los ejes de las x', las y' y las z'. R′ se mueve respecto a R recorriendo v_x m/s en la dirección positiva de las x. Hasta principios del siglo XX se daba por descontado que en este caso

$$\begin{aligned} t' &= t \\ x' &= x - v_x t \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned} \tag{4}$$

Diremos que ésta es una *transformación cinemática de Galileo* con parámetro v_x. Obsérvese que, en virtud de las ecuaciones (4), una señal luminosa emitida en R desde el origen en la dirección positiva del eje de las x llega en un segundo al punto $x = c$; como en R′ llega en el mismo tiempo al punto $x' = c - v_x$, es claro que, bajo los supuestos en que se basa la transformación cinemática de Galileo, la velocidad de la luz no puede ser la misma en todos los sistemas inerciales.

La aplicación sucesiva de dos o más transformaciones a uno de los tres tipos descritos es una transformación de ese tipo. Por lo tanto, cada uno de estos tipos de transformaciones constituye un *grupo*. Combinando traslaciones del grupo (I) con rotaciones del grupo (II) se genera el grupo de los *movimientos euclidianos*. Esta denominación se explica así: si P y Q son dos puntos de este espacio y x, y, z es un sistema de coordenadas cartesianas como los descritos arriba, la distancia entre P y Q es igual a la raíz cuadrada de $(x(P) - x(Q))^2 + (y(P) - y(Q))^2 + (z(P) - z(Q))^2$ y para cualquier otro sistema x', y', z' relacionado con x, y, z por una transformación del tipo (I) o del tipo (II) o por cualquier combinación de tales transformaciones se cumple que

$$(x(P) - x(Q))^2 + ((y(P) - y(Q))^2 + (z(P) - z(Q))^2 = (x'(P) - x'(Q))^2 + (y'(P) - y'(Q))^2 + (z'(P) - (z'(Q))^2 \quad (5)$$

Después que Klein (1872) propuso identificar a cada geometría con el estudio de los *invariantes* de un determinado grupo de transformaciones (esto es, de las propiedades y relaciones que éstas preservan), la geometría euclidiana quedó asociada justamente con el grupo generado por las traslaciones y rotaciones.

Al comienzo de su exposición clásica sobre el espaciotiempo, Minkowski (1909) observa que, mientras el grupo de los movimientos euclidianos es reconocido como un carácter fundamental del espacio, el grupo de las transformaciones puramente cinemáticas casi no recibe atención. Por eso, no se ha pensado en el grupo compuesto de ambos, a pesar de que este grupo total es justamente el que «nos da que pensar» (p. 104). Este cambio de perspectiva obedece por cierto a una consecuencia que ya Einstein (1905*r*) había derivado de sus dos principios[3]: si afirmamos conjuntamente la relatividad del movimiento inercial y la constancia de la velocidad de la luz, y si t y t' son tiempos de Einstein adaptados respectivamente a R y R′, entonces

3. Explico la derivación de Einstein y otras derivaciones alternativas en Torretti (1983).

una transformación cinemática del tipo (III) no satisface las ecuaciones (4), sino las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} t' &= \frac{t-(v_x x/c^2)}{\sqrt{1-(v_x/c)^2}} \\ x' &= \frac{x-v_x t}{\sqrt{1-(v_x/c)^2}} \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned} \tag{6}$$

donde c denota el número de metros que una señal luminosa recorre en un segundo (299.792.458, exactamente). Diremos que ésta es una *transformación cinemática de Lorentz* dependiente del parámetro v_x. Apliquémosla a una señal luminosa emitida en R desde el origen en la dirección positiva del eje de las x; si la señal, como suponemos, recorre en R, c = 299.792.458 metros por segundo, cuando $t = 1$ está llegando a $x = c$; pero esto equivale a decir que llega a $x' = (c - v_x)(1 - v_x^2 c^{-2})^{-1/2}$ cuando $t' = (1 - (v_x c/c^2))(1 - v_x^2 c^{-2})^{-1/2} = c^{-1}(c - v_x)(1 - v_x^2 c^{-2})^{-1/2}$; por lo tanto, en R′ la señal recorre $x'/t' = c$ = 299.792.458 metros por segundo, igual que en R. El grupo generado por las rotaciones (II) y las transformaciones que satisfacen las ecuaciones (6) es el *grupo* (homogéneo, conectado) *de Lorentz*. El generado por este grupo y las traslaciones (I) es *el grupo* (conectado) *de Poincaré* o grupo inhomogéneo de Lorentz.

Una rápida inspección de las ecuaciones (4) y (6) constata la diferencia señalada por Einstein. El paso de R a R′ conforme a la transformación (4) de Galileo rompe las relaciones de isotopía entre eventos pero deja intactas las de simultaneidad. En cambio, la transformación (6) de Lorentz también afecta a la simultaneidad; además, el lapso de tiempo $|t'(E_1) - t'(E_2)|$ entre dos eventos E_1 y E_2 tales que $t(E_1) = t(E_2)$ aumenta con la velocidad v_x y la diferencia $|(x(E_1)) - (x(E^2))|$. Por otro lado, la transformación (6) —al igual que la (4) pero siguiendo una regla diferente— induce un cambio en la distancia entre los lugares donde ocurren E_1 y E_2: en general, $(x(E_1) - x(E_2))^2 + (y(E_1) - y(E_2))^2 + (z(E_1) - z(E_2))^2 \neq (x'(E_1) - x'(E_2))^2 + (y'(E_1) - y'(E_2))^2 + (z'(E_1) - z'(E_2))^2$. Esta variación en la distancia que separa los dos eventos se combina precisamente con la variación del intervalo temporal entre ellos para asegurar que:

$$\begin{aligned}(t(E_1) - t(E_2))^2 - c^{-2}\big((x(E_1) - x(E_2))^2 + (y(E_1) - y(E_2))^2 + \\ (z(E_1) - z(E_2))^2\big) = (t'(E_1) - t'(E_2))^2 - c^{-2}\big((x'(E_1) - x'(E_2))^2 + \\ (y'(E_1) - y'(E_2))^2 + (z'(E_1) - z'(E_2))^2\big)\end{aligned} \tag{7}$$

Es fácil comprobar que la ecuación (7) vale también bajo las transformaciones de los tipos (I) y (II). Por lo tanto, la cantidad expresada a ambos lados de la ecuación (7) permanece invariante bajo todas las transformaciones del grupo de Poincaré. De acuerdo con las ideas de Klein, este grupo determina entonces en R^4 una geometría que llamaremos *minkowskiana*. De esto depende decisivamente la noción de espaciotiempo que Minkowski aportó a la teoría de Einstein.

Para verlo es preciso entender bien qué es un sistema de coordenadas como los que hemos estado considerando. Cada sistema de éstos asigna de modo exclusivo un cierto cuádruplo de números reales $\langle t(E),x(E),y(E),z(E)\rangle$ a un evento físico individual, que ocupa un punto y dura un instante. Si suponemos con Minkowski que en el acontecer físico no hay vacíos, cada uno de los sistemas considerados constituye en efecto una función biyectiva $f{:}\mathrm{M}\rightarrow\mathrm{R}^4$, donde M —por «mundo»— es el conjunto de los eventos[4]. Digamos que una función f de este tipo es una *carta global* de M (f sería una carta *local* si estuviese definida sólo en una *parte* de M y lo aplicase sobre un *abierto* de R^4). Si f es una carta global de M, evidentemente existe la función inversa $f^{-1}{:}\mathrm{R}^4\rightarrow\mathrm{M}$ que asigna a cada cuádruplo de números reales el evento al que f asigna ese cuádruplo. Obviamente una carta global f determina cuatro funciones $f^k{:}\mathrm{M}\rightarrow\mathrm{R}$, con valores reales ($0 \leq k \leq 3$); el valor $f^k(E)$ de f^k en $E\in\mathrm{M}$ es la k-ésima coordenada de E en el sistema bajo consideración, por lo cual las funciones f^k se llaman comúnmente (funciones) *coordenadas*. De ahora en adelante usaremos las letras x, y,… para designar cartas —globales o locales— de M, y distinguiremos con superíndices numéricos las cuatro coordenadas correspondientes, poniendo x^0, y^0,… en vez de t, t',… ; x^1, y^1,… en vez de x, x',…; x^2, y^2,… en vez de y, y',…, y x^3, y^3,… en vez de z, z',…[5]. Estipulamos además que cualquier carta x que se mencione en lo que resta de la § 3 cumplirá las siguientes condiciones: x^0 repre-

4. La terminología y el simbolismo empleados aquí se explican en Mosterín y Torretti (2002), *s.v. función*.

5. En la nueva notación, un número en posición elevada no es un exponente sino un índice de la variable a su izquierda. Para simbolizar potencias encerramos entre paréntesis la variable con su índice y escribimos el exponente a la derecha del último paréntesis. Así, $(x^1)^3 = x^1{\cdot}x^1{\cdot}x^1$; $(x^2)^2 = x^2{\cdot}x^2$.

senta un tiempo de Einstein adaptado a un marco inercial de referencia R, medido en segundos, y creciente en la dirección del futuro, mientras que x^1, x^2 y x^3 son coordenadas cartesianas medidas en metros, asociadas al mismo marco R, y que crecen, respectivamente, en la dirección del pulgar, el índice y el cordial de una mano derecha con estos tres dedos abiertos formando ángulos rectos entre ellos. Una breve reflexión bastará para comprender que, si x e y son dos cartas que llenan estos requisitos, la función compuesta $x \circ y^{-1}$ es una transformación de coordenadas que puede representarse mediante uno de los sistemas de ecuaciones (2), (3) o (6), o se compone de transformaciones que los satisfacen: en otras palabras, $x \circ y^{-1}$ es una transformación de coordenadas del grupo de Poincaré, y otro tanto vale para su inversa $y \circ x^{-1}$. Llamemos P_R a la realización del grupo (conectado) de Poincaré cuyos elementos son todas estas transformaciones. Sustituyendo cada función $x \circ y^{-1}$ —una permutación de R^4— por la función $x^{-1} \circ y$, que es una permutación de M, se obtiene otra realización del grupo (conectado) de Poincaré, isomorfa a la anterior, que llamaremos P_M. De acuerdo con las ideas de Klein, P_M determina una geometría minkowskiana en el conjunto M de los eventos. Investido con esta estructura geométrica, M es lo que Minkowski llamó *mundo* (*Welt*) y hoy se llama *espaciotiempo de Minkowski*.

La geometría minkowskiana tiene una profunda afinidad con la euclidiana, que percibiremos mejor en el apartado 4; sin embargo, a primera vista, son muy diferentes. El invariante desplegado a ambos lados de la ecuación (7) asocia a cada par de eventos E_1 y E_2 una cantidad que denotaremos con $\eta^2(E_1,E_2)$ y que es patentemente la contraparte, en esta geometría, del cuadrado $\delta^2(P_1,P_2)$ de la distancia euclidiana entre dos puntos P_1 y P_2. Pero la diferencia salta a la vista: mientras que $\delta^2(P_1,P_2) \geq 0$ y sólo es igual a 0 si $P_1 \neq P_2$, de modo que no hay inconveniente en definir la distancia misma entre P_1 y P_2 como la raíz cuadrada *positiva* de $\delta^2(P_1,P_2)$, el invariante $\eta^2(E_1,E_2)$ puede ser un número real *positivo*, *negativo* o *igual a cero*, aunque $E_1 \neq E_2$. Decimos que la separación espaciotemporal entre dos eventos distintos E_1 y E_2 es *temporaloide* si $\eta^2(E_1,E_2) > 0$, *espacialoide* si $\eta^2(E_1,E_2) < 0$ y *nula* si $\eta^2(E_1,E_2) = 0$. La clasificación es inmediatamente aplicable a las curvas en el espaciotiempo, que llamaremos *temporaloides*, *espacialoides* o *nulas* si y sólo si la separación entre cualesquiera dos de su puntos cae en la categoría homónima (hay, claro, curvas mixtas que no satisfacen esta condición). La analogía entre δ^2 y η^2 puede acentuarse definiendo la «distancia minkowskiana» $\eta(E_1,E_2)$ como la raíz cuadrada positiva de $\eta^2(E_1,E_2)$ (una estipulación que también se deja aplicar, *mutatis mutandis*, sin inconveniente a la distancia euclidiana).

Pero la «distancia» así definida sólo permite comparaciones significativas entre pares de eventos cuya separación es temporaloide o, alternativamente, entre pares cuya separación es espacialoide, y no hace la menor diferencia entre los diversos pares cuya separación es nula. Ello no obstante, este concepto de distancia no carece de valor. Puede usárselo por ejemplo para definir la longitud de una curva temporaloide por analogía con la longitud de una curva cualquiera en el espacio euclidiano: si *C* es una curva temporaloide finita su longitud estaría dada —en términos de una carta *x* del tipo que hemos estado considerando— por la integral de línea

$$\int_C \sqrt{(dx^0)^2 - c^{-2}\left((dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2\right)} = \int_C \mathrm{d}\sigma \tag{8}$$

Esta definición permite considerar a la curva *C* como análoga a una recta euclidiana, en caso de que $\int_C \mathrm{d}\sigma > \int_{C'} \mathrm{d}\sigma$ para cualquier otra curva vecina *C′* que una los extremos de *C*.[6] En tal caso, la integral (8) es estacionaria $(\delta\int_C \mathrm{d}\sigma = 0)$ y decimos que *C* es una *geodésica* temporaloide.

Relativamente a un evento fijo cualquiera *E*, la función s^2 divide el espaciotiempo en tres partes:

(i) el conjunto $\{X\colon \eta^2(E,X) > 0\}$ de los eventos *X* cuya separación de *E* es temporaloide;
(ii) el conjunto $\{X\colon \eta^2(E,X) < 0\}$ de los eventos *X* cuya separación de *E* es espacialoide;
(iii) el conjunto $\{X\colon \eta^2(E,X) = 0\}$.

El conjunto (iii) es el llamado «cono de luz» de *E*, formado por dos hipersuperficies —dos continuos tridimensionales— conectadas por el punto *E*, que hace el papel de vértice. Los eventos de (i) temporalmente anteriores y posteriores a *E* forman, respectivamente, su «pasado cronológico» y su «futuro cronológico». La unión del pasado cronológico de *E* y aquellos eventos de su cono de luz que podrían ser la fuente de una señal luminosa recibida en *E* constituye el «pasado causal» de *E*. La unión del futuro cronológico de *E* y aquellos eventos de su cono de luz que podrían ser la recepción de una señal

6. La analogía es imperfecta, por cierto: una recta euclidiana es la más *corta* de todas las líneas que unen sus extremos.

luminosa emitida en *E* constituye el «futuro causal» de *E*. Algunos filósofos gustan decir que los eventos del conjunto (ii) son «topológicamente simultáneos con *E*», una denominación que puede aceptarse siempre que se tenga muy claro que esta relación de simultaneidad no es transitiva ni reflexiva (de $\eta^2(E,X) < 0$ y $\eta^2(X,Y) < 0$ no se infiere que $\eta^2(E,Y) < 0$ y, por cierto, $\eta^2(E,E)$ nunca es menor que 0).

El nuevo punto de vista favorecido por Minkowski confiere un significado geométrico al principio de inercia. Si *p* es una partícula masiva sin volumen, la sucesión de eventos que forman la historia de su vida es el camino de una curva temporaloide, la *cosmolínea* de *p* (en alemán, Minkowski la llamó *Weltlinie*). Si *p* se mueve libremente, conforme al principio de inercia, su cosmolínea es una geodésica temporaloide. Esta constatación permite caracterizar a cada marco inercial de referencia R como una congruencia de tales geodésicas[7]. A la luz de esta interpretación geométrica salta a la vista por qué los marcos inerciales y el tiempo de Einstein adaptado a cada uno de ellos gozan de una posición privilegiada en una física basada a la vez sobre el principio de relatividad y el principio de la constancia de la velocidad de la luz, o sea, en lo que normalmente se llama la *teoría especial de la relatividad*.

4

La geometría minkowskiana hizo posible formular de un modo simple y elegante la electrodinámica clásica (Minkowski 1908) y la mecánica relativista (von Laue 1911*a*,*b*,*c*), pero en un principio Einstein no la miró con simpatía, refiriéndose a ella como un mero «formalismo», vale decir, como un artificio matemático capaz, como tantos otros, de facilitarle al físico sus cómputos pero no de enseñarle algo sobre la realidad que investiga. Sin embargo, el espaciotiempo y su geometría son el cimiento y la sustancia de la teoría de la gravitación publicada por Einstein a fines de noviembre de 1915 y difundida desde entonces bajo el nombre de *teoría general de la relatividad*.

Einstein inició la búsqueda de una teoría de la gravitación para sustituir a la de Newton en 1907, esto es, en el mismo año en que Minkowski dio a conocer por primera vez sus ideas en la Universidad de Göttingen (Minkowski 1915). Pero no empezó a utilizarlas hasta

7. Una *congruencia de curvas* en un espaciotiempo es una colección de curvas tal que cada evento del espaciotiempo está sobre el camino de una y sólo una curva de la colección.

1912, después de leer la lúcida exposición de esas ideas por Sommerfeld (1910*a*,*b*). Sus primeras reflexiones sobre la gravedad se inspiran en las que antes lo llevaron a superar el problema de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. En el caso de la electrodinámica le llamaba la atención que procesos cuya apariencia es indiscernible se concebían de muy distinto modo según el marco inercial a que estuvieran referidos; da este ejemplo: si un imán se mueve con velocidad v en presencia de un conductor en reposo, se piensa que en torno al imán surge un campo eléctrico con un determinado contenido energético que genera una corriente en los lugares por donde pasa el conductor, pero si es el conductor el que se mueve con velocidad $-v$ en presencia de un imán en reposo se piensa que no surge campo eléctrico alguno en torno al imán, y que en cambio se produce en el conductor una fuerza electromotriz a la que no corresponde ninguna energía pero que genera en él una corriente igual a la generada en el otro caso (Einstein 1905*r*, 891). Con su principio de relatividad, Einstein puso término a esta asimetría de la electrodinámica. En 1907, advirtió una asimetría análoga en la física de la gravedad. ¿Qué diferencia fenoménica puede observarse entre la caída de los cuerpos en el interior (sin ventanas) de un ascensor en reposo en un campo gravitacional que los acelera uniformemente con aceleración g y su inexorable movimiento hacia el piso del mismo ascensor si éste se mueve en ausencia de campos gravitacionales con aceleración $-g$? Según la teoría de la luz que prevaleció en el siglo XIX la diferencia está en que un rayo de luz emitido desde una pared del ascensor en dirección paralela al piso mantendría esta dirección en el primer caso, mientras que en el segundo se curvaría ligeramente. Pero esta pretendida diferencia no tiene ni el más mínimo respaldo experimental, igual que no lo tenía el pretendido distingo entre las velocidades de la luz con respecto a un cuerpo que reposa y a otro que se mueve en el éter. Einstein adoptó por eso el siguiente *principio de equivalencia* que respeta la igualdad de los fenómenos: si R es un marco de referencia que reposa en un campo gravitacional homogéneo y R′ es un marco de referencia que se mueve con aceleración constante en línea recta respecto a los marcos inerciales, la descripción de un experimento de física referida a cualquiera de los dos no permite distinguirlo del otro. Este enunciado del principio se inspira en la versión publicada por Einstein (1907*j*, 454) y repetida por él varias veces en escritos de divulgación. Pero para el lector de hoy, acostumbrado a ver en la televisión cosmonautas en caída libre dentro o fuera de una nave espacial, es mucho más intuitiva y elocuente otra formulación del principio de equivalencia, basada en lo que Einstein llama en un manuscrito pós-

tumo «la idea más feliz de mi vida» («der glücklichste Gedanke meines Lebens»): si R es un marco de referencia que cae libremente en un campo gravitacional homogéneo y R′ es un marco de referencia inercial, ningún experimento de física referido a uno de ellos permite decidir de cuál se trata.

Del principio de equivalencia, Einstein concluye, con característica audacia y sagacidad, que inercia y gravedad son lo mismo. Newton asombró a todos equiparando el movimiento de la luna y los planetas con la caída de una manzana; Einstein va más lejos y los asimila a los movimientos inerciales a que Newton justamente los oponía. Con ello resuelve de una plumada el misterio que enturbia la teoría de la gravitación de Newton: ¿por qué la fuerza que causa la caída acelerada de los cuerpos es proporcional a la inercia con que ellos resisten a la aceleración? Que todos los cuerpos, no importa su índole, experimenten la misma aceleración de gravedad se explica en la teoría de Newton sólo por esta fortuita coincidencia. Pero ¿se la podrá preservar en la física einsteiniana, donde la inercia es relativa al marco de referencia? Max Planck (1907) estaba seguro de que no y enseñó a distinguir conceptualmente entre «masa inercial» y «masa gravitacional» aunque experimentalmente se confundieran[8]. Einstein, en cambio, iluminado por «la idea más feliz de su vida», hizo de la identidad entre ambas el punto de partida inconmovible de su investigación de la gravedad.

La mecánica celeste newtoniana era a la sazón el capítulo mejor corroborado de la física, pero se fundaba en la acción instantánea a distancia de fuerzas centrales de atracción entre todos los cuerpos materiales y era por lo tanto incompatible con la relatividad de la simultaneidad adoptada por Einstein para reconciliar la electrodinámica con la experiencia. Poincaré (1906) esbozó una ley de gravedad invariante bajo las transformaciones de Lorentz, pero Einstein comprendió muy pronto que por esa ruta se tropezaba con dificultades insalvables. Entonces, con su creación de 1905 todavía fresca y sin aceptar, se puso a trabajar en una teoría de la gravitación que decididamente la trasciende. La larga búsqueda pasa por varias etapas. A la formulación del principio de equivalencia y su aplicación a la óptica (1907*j*, 1911*h*), siguieron dos trabajos, hoy casi olvidados, sobre campos gravitacionales estáticos (1912*c*,*d*) y la «teoría generalizada de la relati-

8. Newton (*Principia*, 3.ª ed., p. 400) dice haber verificado esta relación experimentalmente con un error inferior a $1{:}10^3$. En el siglo XX este margen de error se fue estrechando: Eötvös, Pekar y Fekete (1922) lo redujeron a $5{:}10^9$; Roll, Krotkov y Dicke (1964) a $1{:}10^{11}$, y Braginsky y Panov (1972) a $1{:}10^{12}$. Se trata, pues, de uno de los resultados mejor confirmados de la física.

vidad» de Einstein y Grossmann (1913), que Einstein defiende durante dos años pero que luego descarta en el frenesí de noviembre de 1915, cuando somete a la Academia Prusiana cuatro memorias, a razón de una por semana. En la primera de ellas propone una teoría de la gravitación (1915*f*), otra teoría diferente en la segunda (1915*g*), en la tercera demuestra que la segunda teoría predice el movimiento del planeta Mercurio mejor que la teoría de Newton (1915*h*), y sólo en la última publica las ecuaciones del campo gravitacional constitutivas de la *teoría general de la relatividad* (1915*i*), que está avalada también por los cálculos de la tercera semana porque casualmente coincide con la teoría de la segunda en el vacío interestelar donde el planeta se desplaza. Aunque el feliz desenlace no estuvo asegurado hasta esa semana final, hoy que ya lo conocemos podemos decir, sin temor a equivocarnos, que el paso crucial lo había dado Einstein poco antes de iniciar la colaboración con Grossmann, cuando comprendió que los fenómenos gravitacionales debían explicarse por la estructura geométrica del espaciotiempo. Según cuenta él mismo[9], «la idea decisiva» de la analogía entre el problema que tenía entre manos y la teoría de las superficies de Gauss la tuvo al regresar a Zúrich, como catedrático del Politécnico, en el verano de 1912. Su amigo Grossmann, que enseñaba matemáticas en la misma institución, le informó entonces que Riemann (1854) había generalizado la teoría de Gauss, extendiéndola a espacios de n dimensiones, y que para aplicarla a su problema Einstein tendría que valerse del cálculo diferencial absoluto —más conocido luego como cálculo tensorial— de Ricci y Levi-Civita (1901). Para entender el fundamento y la importancia de la analogía en cuestión debemos repasar rápidamente los logros de Gauss y considerar las dificultades que Einstein afrontaba inmediatamente antes de descubrirla.

Gauss (1828) estudia las superficies lisas discernibles en el espacio euclidiano de tres dimensiones. Introduce un método apropiado para investigar su «geometría intrínseca» sin atender al modo como la superficie está incrustada en el espacio. Piénsese, por ejemplo, en figuras dibujadas en una hoja de papel; la longitud de sus líneas y el tamaño de sus ángulos no cambia un ápice si la hoja se enrolla formando un cono o un cilindro. Si x^1 y x^2 son coordenadas cartesianas definidas sobre la hoja, la longitud $s(C)$ de cualquier curva C trazada en ella está dada por

9. En el prólogo a la traducción checa de su libro de divulgación (1917*a*). No soy capaz de leer esta traducción y el manuscrito alemán del prólogo aún no ha aparecido en los *Collected Papers*, pero John Stachel (1980, 12) cita el pasaje pertinente.

$$s(C) = \int_C ds = \int_C \sqrt{(dx^1)^2 + (dx^2)^2} \tag{9}$$

La integral de la derecha puede escribirse de otro modo, utilizando el símbolo de Kronecker δ_{ij}, que designa el 1 si $i = j$ y el 0 si $i \neq j$:

$$s(C) = \int_C ds = \int_C \sqrt{\sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \delta_{ij}\, dx^i\, dx^j} \tag{10}$$

Aunque no facilita la lectura de la ecuación (9), esta notación ayudará a entender lo que sigue. Si x^1 y x^2 son coordenadas cartesianas, las líneas x^1 = const. y x^2 = const. —cualesquiera que sean las cantidades constantes que designamos con «const.»— son rectas que se cortan ortogonalmente. Reemplacemos ahora las coordenadas cartesianas x^1 y x^2 con las coordenadas curvilíneas u^1 y u^2. Entonces las líneas u^1 = const. y u^2 = const. son curvas que forman ángulos variables en sus puntos de intersección. La longitud de la curva C puede sin duda expresarse en términos de las nuevas coordenadas, pero tenemos que reemplazar en la última integral los factores constantes δ_{ij} por factores que varían con la posición y, por lo tanto, se conciben como funciones de las coordenadas. Designándolos con g_{ij}, como es habitual, tenemos que

$$s(C) = \int_C ds = \int_C \sqrt{\sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} g_{ij}\, du^i\, du^j} \tag{11}$$

El «elemento de línea» *ds* es por cierto igual aquí que en la ecuación (10), aunque su expresión analítica en el integrando de la derecha es distinta porque está referido a otro tipo de coordenadas. Consideremos ahora una superficie lisa cualquiera, por ejemplo, una esfera, o la superficie de un huevo o de una estatua de Henry Moore. En las superficies aducidas como ejemplos sólo es posible definir coordenadas curvilíneas. Pero la longitud $s(C)$ de una curva C trazada sobre cualquiera de ellas puede siempre representarse mediante la integral (11). En particular, si C es lo que se llama una *geodésica*, esto es, si las líneas adyacentes a C y trazadas entre sus dos extremos sobre la misma superficie son todas más largas o todas más cortas que C, C tiene que ser una solución del sistema de ecuaciones diferenciales que expresa las condiciones necesarias y suficientes para que

$$\delta \int_C \sqrt{\sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} g_{ij}\, du^i\, du^j} = 0 \tag{12}$$

Obviamente, el elemento de línea $ds = \sqrt{\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2} g_{ij} du^i du^j}$ no puede aquí ser igual al que figura en la ecuación (10). Sin embargo, es oportuno señalar que coincide con aquél en la aproximación lineal, y la discrepancia sólo se manifiesta a partir de las cantidades de segundo orden. En un lenguaje más intuitivo: la geometría intrínseca de una superficie curva no es la geometría del plano euclidiano, pero se le acerca óptimamente en un entorno infinitesimal de cada punto.

Gauss enseñó además a evaluar la curvatura propia de cada superficie mediante una función dependiente de las g_{ij}. Esta curvatura gaussiana es constante y positiva sobre una esfera, pero varía de un punto a otro en los otros casos citados: en el huevo obviamente crece hacia los extremos y es típicamente mayor en uno que en el otro; en una estatua antropomorfa, es mayor en los codos que en las palmas de las manos. Sobre una hoja de papel es constante e igual a cero, aunque la hoja se enrolle como cilindro; es negativa, en cambio, sobre el asiento de una montura, donde se intersecan curvas cóncavas y convexas. Las funciones g_{ij} son, pues, portadoras de la información que especifica la geometría intrínseca de cada superficie. Por ejemplo, la geometría del plano euclidiano —parcialmente realizada en nuestra hoja de papel— puede caracterizarse así: en él y solo en él es posible definir coordenadas x^1 y x^2 tales que las g_{ij} expresadas como función de ellas satisfacen la relación $g_{ij} = \delta_{ij}$.

Para hallar un parecido entre este tratamiento de las superficies y su propio problema con la gravedad Einstein tenía que adoptar el punto de vista geométrico de Minkowski como algo más que un mero formalismo, y concebir el espaciotiempo como la «arena» (Wheeler) o palestra en que se juega el acontecer cósmico. No sabemos exactamente cuando ocurrió esto, pero hay indicios de que fue muy poco antes del regreso de Einstein a Zúrich. Hay un manuscrito póstumo suyo sobre la relatividad especial que empezó a escribir en 1912 para el *Handbuch der Radiologie* editado por Erich Marx. A partir de la página 47 usó papel de fabricación suiza. En la página 46 califica las aportaciones de Minkowski como «conceptos auxiliares que simplifican extraordinariamente el sistema de la teoría de la relatividad», una expresión que todavía deja traslucir cierta reserva. Pero en la página 45 leemos esto:

> Con Minkowski llamaremos «cosmopunto» (*Weltpunkt*) al punto cuadridimensional del espacio cuadridimensional (punto espaciotemporal) que corresponde a un determinado evento puntual y que está caracterizado, relativamente a un sistema de referencia admisible, por

coordenadas determinadas x, y, z, u. *Éste es propiamente el elemento de la descripción matemática de la naturaleza*. Si se trata, por ejemplo, de la descripción del movimiento de un punto material, éste queda determinado si x, y, z están determinadas como funciones de u. Ello define una línea en el espacio cuadridimensional, que debemos llamar «cosmolínea» (*Weltlinie*) del punto material. La figura de esta línea no cambia si reemplazamos el sistema de referencia por otro igualmente admisible; sólo varía la orientación de la línea entera relativamente al sistema de coordenadas (Einstein, CP, vol. 4, p. 68; cursiva mía).

En consonancia con este enfoque, en un suplemento añadido durante la corrección de pruebas a su artículo «Sobre la teoría del campo gravitacional estático» (1912*d*), Einstein escribe así la ecuación de la cosmolínea de un punto material que se mueve en un campo gravitacional estático, en ausencia de fuerzas externas:

$$\delta \left\{ \int \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2} \right\} = 0 \tag{13}$$

Si la velocidad de la luz c es constante y las coordenadas t, x, y, z son como las que usuamos en la ecuación (8), ésta es la ecuación de una geodésica temporaloide en el espaciotiempo de Minkowski, indistinguible de la cosmolínea de una partícula que se mueve libremente conforme al principio de inercia. Pero la teoría del campo gravitacional estático avanzada por Einstein supone que c depende del potencial gravitacional y sólo es constante si éste es constante. En el caso general es preferible hacer explícito que c varía con la posición, reescribiendo la ecuación (13) así:

$$\delta \left\{ \int_C \sqrt{(c(x,y,z))^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2} \right\} = 0 \tag{13′}$$

(donde he llamado C a la cosmolínea sobre la cual se toma la integral, para referirme a ella más tarde).

Esta variación de la velocidad de la luz con el potencial gravitacional la introdujo Einstein (1911*h*) como una consecuencia de su principio de equivalencia. Max Abraham la incorporó en la nueva teoría de la gravedad que publicó en 1912 en varias entregas, a partir del mes de enero (Abraham 1912*a*,*b*,*c*,*d*,*e*) y que Einstein criticó desde un principio, primero en cartas a Abraham y luego públicamente en un artículo entregado a *Annalen der Physik* el 26 de febrero (1912*c*). En su presentación Abraham utiliza el formalismo espaciotemporal de Minkowski aunque su teoría no es invariante bajo las

transformaciones de Lorentz ni siquiera en un entorno infinitesimal de cada evento puntual. Cuando Einstein le reprochó esta inconsecuencia, Abraham (1912*f*) se allanó a corregirla, admitiendo no sin cierta petulancia que su teoría prescindía de la relatividad einsteiniana, que el propio Einstein había ya desechado al abandonar el principio de la constancia de la velocidad de la luz.

En su respuesta a Abraham, Einstein (1912*h*) distingue con toda razón entre este principio y el de relatividad propiamente tal, que formula aquí expresamente como un principio de invariancia de las leyes naturales referidas a cualquier sistema de coordenadas de cierto tipo. «Para dudar de la validez universal del principio de relatividad no tenemos [...] ni el más mínimo fundamento. En cambio, soy de la opinión de que el principio de la constancia de la velocidad de la luz sólo se deja sostener si uno se limita a regiones espaciotemporales de potencial gravitacional constante» (*ibid*., 1062). Sin embargo, como sabemos, si esas leyes invariantes incluyen las de la electrodinámica clásica, el principio de relatividad de Einstein implica la constancia de la velocidad de la luz. No hay que ser un lógico muy avezado para concluir con Abraham que al renunciar a ésta se desecha aquél. Einstein guarda silencio sobre esta relación entre los dos principios pero concede que parece imposible insertar consistentemente las fuerzas de gravedad «en el esquema de la teoría de la relatividad de hoy» (*das Schema der heutigen Relativitätstheorie*, 1063). En el interesantísimo párrafo siguiente (el penúltimo de su respuesta), añade que «la teoría de la relatividad de hoy siempre conservará su valor, en mi opinión, como la teoría más simple *en el importante caso límite* del acontecer espaciotemporal con potencial gravitacional constante» (*ibid*., cursiva mía). Como tarea para «el futuro inmediato», Einstein propone «crear un esquema relativista (*ein relativitätstheoretisches Schema*) en que se exprese la equivalencia entre masa inerte y masa pesada». Sus trabajos sobre el campo gravitacional estático constituyen sólo un primer aporte, «muy modesto», al logro de esta meta. En ellos ha procurado asegurar la equivalencia de las masas asimilando el campo gravitacional estático a un marco de referencia acelerado. Einstein reconoce que sólo ha podido llevar a cabo esta asimilación sin contradicciones en espacios infinitesimales, y que no sabe explicarse esta limitación. Pero «no ve aquí ninguna razón para descartar dicho principio de equivalencia también para lo infinitesimal: nadie puede negar que este principio es una extrapolación natural de uno de los principios empíricos más universales de la física». Sigue una observación que destaco para poder luego referirme a ella más fácilmente:

> Por otra parte, este principio de equivalencia nos abre la interesante perspectiva de que las ecuaciones de una teoría de la relatividad que también comprendiera la gravitación pudiesen ser invariantes también respecto de las transformaciones de aceleración (y rotación) (Einstein, 1912*h*, 1063).

Enseguida agrega: «A la luz del caso sumamente especial considerado hasta aquí de la gravitación de masas en reposo se puede ver ya que *las coordenadas espacio-temporales tienen que perder su simple significado físico*» (*ibid*., pp. 1063-1064, cursiva mía). En la Gibson Lecture dictada en Glasgow en 1933, Einstein dirá que aceptar esto fue una de las peores dificultades que tuvo que superar cuando buscaba una teoría de la gravitación (1934, 252-253; 1949, 66). Ahora bien, si la ecuación (13) se mira desde este punto de vista, la analogía con la teoría gaussiana de las superficies empieza a parecer irresistible. Reemplacemos en ella las letras t, x, y, z con x^0, x^1, x^2, x^3, como hicimos para hablar del espaciotiempo de Minkowski. Si ponemos $g_{00} = c(x^1,x^2,x^3)$, $g_{kk} = -1$ si $k > 0$, y $g_{kh} = 0$ si $k \neq h$, la ecuación (13′) pasa a escribirse así:

$$\delta\int_C \sqrt{\sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{3} g_{ij}\,dx^i dx^j} = 0 \qquad (14)$$

A primera vista, esta ecuación no se distingue de la ecuación (12) de una geodésica sobre una superficie curva más que por el número de dimensiones en juego. En principio, la ecuación (14) podría tal vez representar una geodésica del espaciotiempo de Minkowski, referida a coordenadas curvilíneas; pero esta alternativa está excluida si el potencial gravitacional no es constante. Sin embargo, la analogía gaussiana induce a concebir (14) como la ecuación de una geodésica de un espaciotiempo con otra geometría, que se relacione con la de Minkowski como la geometría de una superficie curva se relaciona con la del plano euclidiano. Si, aplicando la «extrapolación natural» favorecida por Einstein, suponemos que el principio de equivalencia vale «para lo infinitesimal», el integrando $\sqrt{\sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{3} g_{ij}\,dx^i dx^j}$ de la ecuación (14) se aproximará linealmente en un pequeño entorno de cada evento al integrando de la ecuación (8), esto es, al «elemento de línea» de la geometría minkowskiana, y la cosmolínea de una partícula en caída libre en un campo gravitacional cualquiera no se distinguirá localmente de lo que sería la cosmolínea de una partícula en movimiento inercial. (Considérese este ejemplo familiar: un cosmo-

nauta en órbita deja caer un destornillador; éste se comporta a ojos vistas, de momento en momento, como un cuerpo libre de toda influencia de fuerzas externas, aunque cae en el campo gravitacional de la Tierra, que no es homogéneo.)

Falta mencionar el aspecto más inesperado y fecundo de la analogía gaussiana. Extendiendo audazmente el principio de equivalencia a los campos gravitacionales inhomogéneos, Einstein concibe la inercia como un caso límite de la gravedad y la ley de la caída libre como una generalización de la ley de inercia. Según esta ley, la cosmolínea de una partícula en movimiento inercial es una geodésica temporaloide en el espaciotiempo. Einstein postula que otro tanto vale —*mutatis mutandis*— para la cosmolínea de una partícula en caída libre. La diferencia —los *mutanda*— reside sólo en la geometría aplicable en cada caso y se expresa en las g_{ij}, que en el caso de la inercia pueden siempre reducirse, mediante una juiciosa elección de coordenadas, a la colección de constantes

$$\begin{pmatrix} g_{00}=1 & g_{01}=0 & g_{02}=0 & g_{03}=0 \\ g_{10}=0 & g_{11}=-1 & g_{12}=0 & g_{13}=0 \\ g_{20}=0 & g_{21}=0 & g_{22}=-1 & g_{23}=0 \\ g_{30}=0 & g_{31}=0 & g_{32}=0 & g_{33}=-1 \end{pmatrix} \tag{15}$$

pero que en el caso general son funciones de las coordenadas y varían con la posición espaciotemporal. Como la cosmolínea geodésica de una partícula que cae libremente está enteramente determinada por las g_{ij}, estas funciones, portadoras de la información que caracteriza la geometría del espaciotiempo, especifican a la vez el campo gravitacional, que guía la trayectoria espaciotemporal de cada cuerpo expuesto a su influencia. Así, en la futura teoría de la gravedad las g_{ij} jugarán entre todas el papel del potencial gravitacional en la teoría clásica. Tal como ésta vincula, mediante la ecuación de Poisson, las variaciones del gradiente del potencial con un campo escalar que representa la materia presente en cada lugar, la teoría contemplada por Einstein estará centrada en un sistema de ecuaciones del campo gravitacional que vincula las g_{ij} y sus derivadas primeras y segundas a un objeto matemático representativo de la distribución de la energía no gravitacional.

Las obras de Riemann y de Ricci y Levi-Civita que Einstein estudia por consejo de Grossmann no podían sino confirmarlo en su visión, inspirada en Gauss, de una teoría geométrica —o, mejor dicho, geometrodinámica— de la gravedad. La historia de sus afanes y ex-

travíos —desde agosto de 1912, cuando ya todo lo esencial estaba claro para él, y fines de noviembre de 1915, cuando al fin dará con las ecuaciones de campo que buscaba— ha sido bien relatada varias veces[10] y no viene al caso repasarla aquí. La teoría de la gravitación que finalmente propone significa el triunfo del punto de vista espaciotemporal de Minkowski sobre el enfoque inicial de Einstein, basado en la comparación entre marcos de referencia intersustituibles. Cuesta por eso entender la tenacidad del nombre «teoría general de la relatividad» que Einstein le impuso. Ya a propósito de la «teoría especial» había dicho Minkowski que le parecía «muy insípido» (*sehr matt*) llamar

> *Principio de relatividad* (*Relativitätspostulat*) a la exigencia de invariancia bajo el grupo [de Lorentz]. En cuanto el sentido del principio es que mediante los fenómenos sólo está dado el cosmos de cuatro dimensiones en el espacio y tiempo, mientras que su proyección en el espacio y en el tiempo puede aún efectuarse con cierta libertad, preferiría darle a este aserto el nombre de *Principio del cosmos absoluto* (*Postulat der absoluten Welt*) (Minkowski, 1909, 107).

La «teoría general» abarca ciertamente la teoría especial de la relatividad como un caso límite, pero sólo porque las g_{ij} desplegadas en la matriz (15), que caracterizan la geometría minkowskiana, constituyen una solución particular de las ecuaciones de Einstein (1915*i*) —aplicable en el caso de un espaciotiempo vacío— y esta solución es aproximada linealmente por cualquier otra en un entorno de cada punto-evento. Es, pues, en cuanto teoría del espaciotiempo como la teoría general merece este calificativo, y no en cuanto pretendida generalización del principio de relatividad. La observación de Einstein (1912*h*) que destaqué arriba manifestaba la esperanza de extender la relatividad a los marcos de referencia en movimiento acelerado y de rotación. La idea de que esta esperanza se ha cumplido con creces porque las ecuaciones de Einstein (1915*i*) satisfacen el requisito de covariancia general es fruto de una confusión, como el mismo Einstein (1918*e*) reconoció en su respuesta a Kretschmann (1917), que se lo hizo ver. La covariancia general, esto es, la propiedad que tienen esas ecuaciones de preservar su validez bajo transformaciones arbitrarias de coordenadas, es una exigencia que naturalmente deben cumplir las leyes de la física cuando se las refiere a sistemas de coordenadas que, en principio, carecen de significado métrico y se usan sólo para individuali-

10. Véase especialmente Norton (1985, 1984), Stachel (1989), Earman y Glamour (1978*a*,*b*). Vizgin (2002) estudia la influencia de las ideas de Mach que no menciono aquí por falta de espacio. Cf. también mi propio relato: Torretti (1983, cap. 5).

zar los eventos y expresar las relaciones de vecindad entre ellos mediante asignaciones de números. Esta exigencia se cumple, por lo demás, automáticamente cuando las cantidades físicas se representan mediante «objetos geométricos» —como los tensores del cálculo diferencial de Ricci y Levi-Civita (1901), que debe justamente a esta circunstancia su epíteto de *absoluto*— y no se opone en modo alguno a la construcción de un «objeto geométrico» que corresponda a una rotación absoluta, como lo requiere, por ejemplo, la solución de Gödel (1949) a las ecuaciones de Einstein (1915*i*).

BIBLIOGRAFÍA

Abraham, M. (1912*a*), «Zur Theorie der Gravitation»: *Physikalische Zeitschrift* 13, 1-4.

Abraham, M. (1912*b*), «Das Elementargesetz der Gravitation»: *Physikalische Zeitschrift* 13, 4-5.

Abraham, M. (1912*c*), «Berichtigung»: *Physikalische Zeitschrift* 13, 176.

Abraham, M. (1912*d*), «Der freie Fall»: *Physikalische Zeitschrift* 13, 310-311.

Abraham, M. (1912*e*), «Die Erhaltung der Energie und der Materie im Schwerkraftfelde»: *Physikalische Zeitschrift* 13, 311-314.

Abraham, M. (1912*f*), «Relativität und Gravitation. Erwiderung auf eine Bemerkung des Hrn. A. Einsteins»: *Annalen der Physik* 38, 1056-1058.

Abraham, M. (1912*g*), «Das Gravitationsfeld»: *Physikalische Zeitschrift* 13, 793-797.

Abraham, M. (1912*h*), «Nochmals Relativität und Gravitation: Bemerkungen zu A. Einsteins Erwiderung»: *Annalen der Physik* 39 444-448.

Braginsky, V. B. y Panov, V. I. (1972), «Verification of the equivalence of inertial and gravitational mass»: *Soviet Physics JETP* 34, 463-466. (Texto ruso original en *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 61, 873-879, 1971.)

Earman, J. y Glymour, C. (1978*a*), «Lost in the tensors: Einstein's struggles with covariance principles 1912-1916»: *Studies in History and Philosophy of Science* 9, 251-278.

Earman, J. y Glymour, C. (1978*b*), «Einstein and Hilbert: Two months in the history of general relativity»: *Archive for History of Exact Sciences*, 291-307.

Einstein, A. (CP), *The Collected Papers of Albert Einstein*. Princeton University Press, Princeton, 1987-. (Hasta 2004 habían aparecido los vols. 1-9.)

Einstein, A. (1905*r*), «Zur Elektrodynamik bewegter Körper»: *Annalen der Physik* 891-921 (reproducido en Einstein, CP, vol. 2).

Einstein, A. (1907*j*), «Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen»: *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 4, 411-462; «Berichtigungen», *ibid.* 5, 1908, 98-99 (reproducido en Einstein, CP, vol. 2).

Einstein, A. (1911*h*), «Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes»: *Annalen der Physik* 35, 898-908 (reproducido en Einstein, CP, vol. 3).
Einstein, A. (1912*c*), «Lichtgeschwindigkeit und Statik des Gravitationsfeldes»: *Annalen der Physik* 38, 355-369 (reproducido en Einstein, CP, vol. 4).
Einstein, A. (1912*d*), «Zur Theorie des statischen Gravitationsfeldes»: *Annalen der Physik* 38, 443-458 (reproducido en Einstein, CP, vol. 4).
Einstein, A. (1912*h*), «Relativität und Gravitation. Erwiderung auf eine Bemerkung von M. Abraham»: *Annalen der Physik* 38, 1059-1064.
Einstein, A. (1915*f*), «Zur allgemeinen Relativitätstheorie», en *K. Preussische Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, 778-786 (reproducido en Einstein, CP, vol. 6).
Einstein, A. (1915*g*), «Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Nachtrag)», en *K. Preussische Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, 799-801 (reproducido en Einstein, CP, vol. 6).
Einstein, A. (1915*h*), «Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie», en *K. Preussische Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, 831-839 (reproducido en Einstein, CP, vol. 6).
Einstein, A. (1915*i*), «Die Feldgleichungen der Gravitation», en *K. Preussische Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, 844-847 (reproducido en Einstein, CP, vol. 6).
Einstein, A. (1916*e*), «Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie», en *Annalen der Physik* 49, 769-822 (reproducido en Einstein, CP, vol. 6).
Einstein, A. (1917*a*), *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. (Gemeinverständlich)*, Vieweg, Braunschweig (reproducido en Einstein, CP, vol. 6).
Einstein, A. (1918*e*), «Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie»: *Annalen der Physik* 55, 241-244 (reproducido en Einstein, CP, vol. 7).
Einstein, A. (1922*c*), *Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie gehalten im Mai 1921 an der Universität Princeton*, Vieweg, Braunschweig (reproducido en Einstein, CP, vol. 7).
Einstein, A. (1934), *Mein Weltbild*, 2.ª ed., Querido, Amsterdam.
Einstein, A. (1949), «Autobiographisches», en Paul Arthur Schilpp (ed.), *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, Open Court, Evanston, vol. I, 2-94.
Einstein, A. y Grossmann, M. (1913), *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*, Teubner, Leipzig (reproducido en Einstein CP, vol. 4).
Einstein, A. y Laub, J. (1908*a*), «Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper»: *Annalen der Physik* 26, 532-540 (reproducido en Einstein CP, vol. 2).
Gauss, C. Fr. (1828), «Disquisitiones generales circa superficies curvas»: *Commentationes societatis regiae scientiarum Gottingensis Recentiores* 6, 99-146.
Geroch, R. P. y Jang, P. S. (1975), «Motion of a body in General Relativity»: *Journal of Mathematical Physics* 16, 65-67.

Gödel, K. (1949), «An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation»: *Reviews of Modern Physics* 21, 447-450.

Hall, A. R. y Hall, M. B. (eds.) (1962), *Unpublished Science Papers of Isaac Newton*. A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge University Press, Cambridge.

Klein, F. (1872), *Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen*, A. Duchert, Erlangen.

Kretschmann, E. (1917), «Über den physikalischen Sinn der Relativitätspostulaten»: *Annalen der Physik* 53, 575-614.

Lange, L. (1885), «Über das Beharrungsgesetz»: *K. Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Berichte. Math.-Phys. Classe* 37, 333-351.

Laue, M. von (1911*a*), «Zur Dynamik der Relativitätstheorie»: *Annalen der Physik* 35, 524-542.

Laue, M. von (1911*b*), «Zur Diskussion über den starren Körper in der Relativitätstheorie»: *Physikalische Zeitschrift* 12, 85-87.

Laue, M. von (1911*c*), *Das Relativitätsprinzip*, Vieweg, Braunschweig.

Michelson, A. A. (1881), «The relative motion of the earth and the luminiferous ether»: *American Journal of Science* 22, 120-129.

Michelson, A. A. y Morley, E. W. (1886), «Influence of motion of the medium on the velocity of light»: *American Journal of Science* 3, 31, 377-386.

Michelson, A. A. y Morley, E. W. (1887), «On the relative motion of the earth and the luminiferous aether»: *Philosophical Magazine* 5, 24, 449-463.

Minkowski, H. (1908), «Die Grundgleichungen fur die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körper»: *Göttinger Nachrichten*, 53-111.

Minkowski, H. (1909), «Raum und Zeit»: *Physikalische Zeitschrift* 10, 104-111.

Minkowski, H. (1915), «Das Relativitätsprinzip»: *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* 24, 372-382. (Leído el 5 de noviembre de 1907 ante la Sociedad Matemática de Gotinga; publicado póstumamente aquí y en *Annalen der Physik*, 47, 927 ss. [1915].)

Mosterín, J. y Torretti, R. (2002), *Diccionario de lógica y filosofía de la ciencia*, Alianza, Madrid.

Neumann, C. (1870), *Über die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie*, Akademische Antrittsvorlesung gehalten in der Aula der Universität Leipzig am 3. November 1869, Teubner, Leipzig.

Newton, I. (*Principia*, 3.ª ed.), *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. The Third Edition (1726) with variant readings assembled and edited by A. Koyré and I. B. Cohen with the Assistance of A. Whitman, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2 vols.

Norton, J. (1984), «How Einstein found his Field Equations: 1912-1915»: *Historical Studies in the Physical Sciences* 14, 253-316.

Norton, J. (1985), «What was Einstein's Equivalence Principle?»: *Studies in History and Philosophy of Science* 16, 203-246.

Planck, M. (1907), «Zur Dynamik bewegter Systeme»: *Preussische Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, 542-570.

Poincaré, H. (1906), «Sur la dynamique de l'électron»: *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo* 21, 129-175.

Ricci, G. y Levi-Civita, T. (1901), «Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications»: *Mathematische Annalen* 54, 125-201.

Riemann, G. B. (1854), «Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen»: *Abhandlungen der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* 13, 133-152 (1867). (Lección inaugural dictada en 1854.)

Roll, P. G., Krotkov, R. y Dicke, R. H. (1964), «The equivalence of inertial and passive gravitational mass»: *Annals of Physics* 26, 442-517.

Schouten, J. A. y Kampen, E. R. van (1930), «Zur Einbettungs- und Krummungstheorie nichtholonomer Gebilde»: *Mathematische Annalen* 103, 752-783.

Sommerfeld, A. (1910*a*), «Zur Relativitätstheorie: I. Vierdimensionale Vektoralgebra»: *Annalen der Physik* 32, 749-776.

Sommerfeld, A. (1910*b*), «Zur Relativitätstheorie: II. Vierdimensionales Vektoranalysis»: *Annalen der Physik* 33, 649-689.

Stachel, J. (1980), «Einstein and the rigidly rotating disk», en A. Held (ed.), *General Relativity and Gravitation: One Hundred Years after the Birth of Albert Einstein*, vol. 1, Plenum Press, New York, 1-15.

Stachel, J. (1989), «Einstein's search for general covariance, 1912-1915», en D. Howard y J. Stachel, *Einstein and the History of General Relativity*, Birkhäuser, Boston, 63-100. (*Einstein Studies*, vol. 1.)

Thomson, J. (1884), «On the law of inertia, the principle of chronometry and the principle of absolute clinural rest, and of absolute rotation»: *Royal Society of Edinburgh Proceedings* 12, 568-578.

Torretti, R. (1983), *Relativity and Geometry*, Pergamon Press, Oxford. (Dover Publications, New York, 2.ª ed. corr., 1996.)

Torretti, R. (1994), *La geometría del universo y otros ensayos de filosofía natural*, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Veblen, O. y Whitehead, J. H. C. (1932), *The Foundations of Differential Geometry*, Cambridge University Press, Cambridge.

Vizgin, V. (2002), «The role played by Mach's ideas in the genesis of the General Theory of Relativity», en Y. Balashov y V. Vizgin (eds.), *Einstein Studies in Russia*, Birkhäuser, Boston, 45-89. (*Einstein Studies*, vol. 10.)

Whittaker, E. T. (1928), «Note on the law that light-rays are the null-geodesics of a gravitational field»: *Cambridge Philosophical Society Proceedings*, 32-34.

ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DE LA COSMOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

Víctor Rodríguez

1. INTRODUCCIÓN

La cosmología contemporánea es un área temática bastante peculiar. Usualmente se entiende por ella el estudio de la estructura y evolución del universo en gran escala. Ésta no es una definición precisa, y quizás no sea posible dar una caracterización mucho más elaborada de su ámbito, ya que de algún modo pretende ser el estudio del universo en su totalidad y ésta es una empresa intelectual que se nos escapa por las múltiples limitaciones de nuestros modos de conocerlo.

Se pretende dar aquí un panorama de las reflexiones epistemológicas sobre ella, aunque se ha evitado en lo posible el uso de lenguajes técnicos, ya que el artículo está dirigido a un lector no especializado en esta temática. Para ello, se ha estimado conveniente esbozar primero un breve paisaje de la cosmología actual y de las imágenes del cosmos que ella produce. Se ha tratado de lograr allí un equilibrio entre aspectos observacionales y aspectos teóricos, que sirva de base para los contextos de interés epistemológico que se exponen a continuación. Este último sector refleja una deuda con escritos de filósofos que han contribuido a la epistemología de la cosmología[1].

Se entiende la epistemología de la cosmología como una actividad de reflexión sobre los modos de conocer el universo; en este sentido, el espectro de interés va desde aspectos metodológicos hasta on-

1. En habla hispana, cabe mencionar a Mario Bunge, Jesús Mosterín y Roberto Torretti. Javier Echeverría también ha ejercido influencia con sus investigaciones sobre los contextos de la ciencia. Naturalmente, todos quedan exentos de responsabilidad en lo que aquí se expone.

tológicos. Por otra parte, las cuestiones epistemológicas aparecen tanto en las investigaciones de frontera de la cosmología, como en las reflexiones de segundo orden que intentan ubicar a esta disciplina en un contexto cultural más amplio. Es necesario aclarar también que no se ha optado por una aproximación histórica ni sociológica al tema, aun cuando ello no significa en absoluto desmerecer estos enfoques. La razón para la estrategia expositiva adoptada es que se intenta un acercamiento al estado actual de las investigaciones en cosmología.

2. ELEMENTOS PARA UNA IMAGEN DEL COSMOS

2.1. *Contextos de la cosmología*

Para muchos, la cosmología científica es una disciplina del siglo XX. Se asocia su desarrollo con las consecuencias cosmológicas de la teoría de la relatividad general de Einstein, con el descubrimiento de las galaxias y de la expansión del universo. Como disciplina, es producto de un conjunto de tradiciones de investigación. A la cosmología de los astrónomos se llega desde varias especialidades estrechamente emparentadas. Las principales son la astrofísica, la astronomía extragaláctica, la cosmología observacional y la cosmología teórica. También se podría sumar a la geología, fundamentalmente por los métodos de datación de edades y su incidencia cosmológica.

Se da prioridad al tratamiento de la astronomía por dos razones: una, es que ella es la principal protagonista en lo que al universo se refiere; la otra razón es que todavía no tenemos un abordaje epistemológico integral de la astronomía contemporánea. Ésta es una disciplina considerablemente descuidada por la filosofía de la ciencia, lo que presenta un claro contraste con el volumen de reflexiones sobre lo acontecido en siglos anteriores acerca de la investigación sobre el universo.

La cosmología se nutre también de la física, a través de la teoría de la relatividad general, de la física nuclear y de partículas elementales, y últimamente también de las teorías cuánticas de campo y de los programas de unificación de las interacciones básicas (cf. Smolin 2001; Greene 1999). Conviene distinguir a su vez dos estilos de extrapolación de actividades locales a cuestiones cosmológicas: por un lado, la proyección de resultados experimentales terrestres a contextos extremos; por otro, la extensión de teorías y modelos de la física teórica contemporánea a condiciones cosmológicas.

Aun cuando hay considerable superposición entre todos estos ámbitos de investigación, un programa robusto de epistemología de la cosmología debe ser sensible a las diferencias exhibidas por ellos.

2.2. *Desde la astronomía a la cosmología*

La cantidad y la variedad de información que nos llega desde el universo son realmente abrumadoras y difíciles de procesar por los métodos corrientes de análisis de datos. En una pequeña porción de cielo escudriñada por el telescopio espacial Hubble, aparecen millones de galaxias, por citar sólo un ejemplo. El zoológico astronómico es notablemente variado y en buena medida eclipsa los territorios inexplorados de los biólogos. De algún modo, la astronomía clama por un Darwin. He aquí una lista incompleta de entidades representativas: gas interestelar frío, estrellas «estándar» de diversos tipos, rayos cósmicos, galaxias de diversas formas y tamaños, cúmulos de galaxias, supercúmulos, polvo interestelar, novas y supernovas, reliquias de supernovas, radiogalaxias, variables magnéticas, campos magnéticos interestelares, estrellas de rayos X, agregados de estrellas, desde sistemas binarios hasta sistemas múltiples, cuásares, máseres cósmicos, estrellas infrarrojas, galaxias de rayos X, púlsares, estrellas de neutrones, rayos gama de fondo, galaxias infrarrojas, fuentes superluminales, radiofuentes no identificadas, lentes gravitacionales, radiación cósmica de fondo y fluctuaciones asociadas, estructuras irregulares en gran escala, objetos menores, como cometas, asteroides, planetas dentro y fuera del sistema solar.

En un rango de existencia algo más hipotético se encuentran numerosos candidatos a agujeros negros, especialmente en el centro de algunas galaxias, variantes de materia oscura que eventualmente puebla el universo, ondas gravitacionales y una rica variedad de partículas exóticas producida por las teorías de la física actual, algunas detectadas en la tierra y otras todavía en el escritorio de los teóricos. La arquitectura dominante asociada a todos estos objetos está dada por una suerte de jerarquía de estructuras que va desde sistemas planetarios hasta supercúmulos de galaxias. En algunos de estos ámbitos ha habido grandes progresos en las últimas décadas, por ejemplo, en el campo de la síntesis de elementos en las estrellas (cf. Wallerstein *et al.* 1997). Cada uno de estos objetos presenta problemas específicos y ello ha permitido clasificar un abundante menú de problemas no resueltos en astrofísica (cf. Bahcall y Ostriker 1997).

En realidad se podría responder que de un modo u otro, todos los tópicos de la astronomía tienen significado cosmológico. Usualmente

se consideran relevantes para la cosmología objetos y estructuras de grandes dimensiones, pero no se pueden descartar *a priori* entidades aparentemente insignificantes, como los asteroides, o el polvo interestelar, que también pueden ser indicadores indirectos de procesos cosmológicos. A pesar de lo aparentemente extraño de este enfoque, una cadena de inferencias sumamente extensa y alambicada le confiere cierta plausibilidad, fundamentalmente en relación con el origen de los elementos pesados en el cosmos. Las supernovas son protagonistas importantes en estos procesos y sus explosiones, aunque poco frecuentes, tienen significación cosmológica. Ello por varias razones. Por un lado, debido a que se estima que ellas aparecían más frecuentemente en las épocas tempranas de las galaxias y en este sentido serían indicadores de evolución; además, porque desde hace poco se han transformado en faros distantes que dan información acerca de la curvatura del espacio y, consecuentemente, del destino del universo (Perlmuter *et al.* 1999; Riess *et al.* 1998). Pero también las supernovas cercanas dan información cosmológica indirecta, ya que sirven para chequear las teorías de neutrinos, cuyo protagonismo cosmológico es tema de activa investigación.

Como las galaxias son los ladrillos del universo, uno de los temas cosmológicos clásicos es el del origen de ellas y de los cúmulos en las que se encuentran. La astronomía extragaláctica ha dedicado mucha energía en ejercicios taxonómicos. Desde hace varias décadas existen modelos de clasificación que intentan poner cierto orden en los muchos tipos de galaxias existentes (cf. Hubble 1936). El trabajo no es simple, ya que más allá de un buen porcentaje de galaxias elípticas y espirales, existe una considerable proporción de galaxias irregulares. Asimismo, hay interacción entre muchas de ellas, por medio de puentes intergalácticos, canibalismo, colisiones, y, en muchos casos, por interacción con el medio ambiente.

Muchas preguntas importantes acerca de la formación de galaxias permanecen sin resolver y se necesitarán numerosas observaciones adicionales para poder elegir entre los modelos disponibles. Esto constituye una restricción importante para las investigaciones cosmológicas actuales. Con respecto a los cúmulos de galaxias, debido a la variedad que se observa, tampoco es sencillo elaborar taxonomías robustas. Hay cúmulos gigantescos y otros poco homogéneos y con escasos elementos; algunos parecen extenderse hasta alcanzar a otros y así formar una estructura casi continua a través de puentes intergalácticos. Se ha anunciado, por ejemplo, la detección de una estructura laminar gigantesca formada por una peculiar distribución de galaxias, aunque el acuerdo no es total en lo referido a la aceptación de algunas de es-

tas superestructuras. Otro descubrimiento significativo fue encontrar grandes vacíos entre los cúmulos, que se asemejan a burbujas. En realidad, no puede hablarse de estricto vacío dentro de ellas, ya que es perfectamente posible la existencia de alguna forma de materia poco luminosa allí. También se ha señalado la existencia de un gran polo de atracción, que aparentemente desvía inmensas cantidades de galaxias hacia un sector especial del universo observable. Dada la incertidumbre existente todavía en torno de estos datos, se ha argumentado que pueden darse efectos descriptivos del tipo analizado por la teoría de Ramsey, que induce la construcción de patrones donde sólo hay distribución al azar. Naturalmente, sólo observaciones más precisas podrán aclarar estas incógnitas. En cualquier caso, se acepta la existencia de supercúmulos de galaxias, y se los está usando para captar desviaciones locales de la expansión del universo; esto es, como probadores cosmológicos.

También tienen protagonismo cosmológico los cuásares, objetos cuya naturaleza es motivo de intensa investigación. La interpretación del corrimiento al rojo de algunos de ellos supera actualmente chequeos muy exigentes, mostrando que algunos se encuentran detrás de galaxias de corrimientos al rojo más bajo, y ello constituye un indicador poderoso de la validez de la relación entre este parámetro y la distancia en cosmología. Rees (2000) da un breve e interesante panorama de algunos de estos últimos resultados.

Un tema central de la cosmología es la determinación de distancias en el universo. El método de la paralaje trigonométrica falla a distancias cercanas. También se usa el desplazamiento del sol en la galaxia. Los cambios son muy pequeños pero perceptibles. La paralaje estadística extiende la estimación de distancias un poco más lejos. Se usan además los movimientos propios en los cúmulos de estrellas. Las estrellas variables cefeidas son hasta ahora el mejor faro encontrado y contribuyen a determinar la distancia de galaxias cercanas. Se han desarrollado también métodos para medir magnitudes y colores de estrellas en cúmulos; con ello se elaboran diagramas, que a su vez son calibrados sobre un determinado cúmulo y se aplican para inferir distancias de otros cúmulos que contienen cefeidas. Esto se aplica también a la estimación de las distancias de galaxias. Las últimas décadas han mostrado la evolución de una compleja arquitectura en lo que hace a la escala de distancias. Hubo un programa de Sandage y Tammann que tuvo considerable éxito, y luego le sucedieron refinamientos y evaluaciones posteriores (cf. Hodge 1981). Como producto de esta dinámica arquitectónica, el número de indicadores atendibles ha crecido notablemente. Los métodos disponibles actualmente tienen

en cuenta cefeidas, novas, estrellas RR Lyrae, binarias eclipsantes, gigantes rojas, supergigantes, variables H-S, cúmulos globulares, nebulosas planetarias, supernovas, diámetros y luminosidades de las regiones H II, intensidad de líneas, velocidades radiales, entre otros elementos. A pesar de que se corre el riesgo de perderse en esta jungla de indicadores de distancia, se enfatiza aquí la importancia decisiva de este sector de la investigación astronómica para la cosmología, ya que en muchas ocasiones queda eclipsada su importancia por las modas mediáticas sensibles a imágenes exóticas del cosmos.

Hay un conjunto de tópicos que configuran el núcleo de la cosmología ortodoxa contemporánea[2]. En primer lugar, existe un marco espaciotemporal basado en la familia de modelos de universo de Friedmann-Lemaitre. Una característica fuertemente aceptada del universo es que se está expandiendo y que tuvo un pasado mucho más caliente. El modelo dominante parte de una gran explosión (*big bang*). El principal soporte que ha recibido este escenario es la existencia de la radiación cósmica de cuerpo negro de fondo. Otro gran apoyo a este modelo lo constituye la concordancia entre la teoría de la nucleosíntesis en el universo primitivo y la abundancia de los elementos livianos que se observa en el cosmos, en particular la proporción entre la cantidad de hidrógeno y helio y, en cantidad menor, de deuterio y litio.

Este modelo de universo en expansión se describe en líneas generales por las geometrías de Robertson-Walker, debido a que se pretende describirlo a gran escala con características de espacio-tiempos que son espacialmente homogéneos e isótropos. Para este fin, se intentan atenuar las irregularidades regionales del cosmos, ya que la presencia de cúmulos y supercúmulos de galaxias conspira en contra de la isotropía y homogeneidad estipulada para la validez de estos modelos. Consecuentemente, para poder probar la bondad de estas geometrías, se debe resolver el problema de los promedios de escalas y la descripción de ellas. Una dificultad no menor es la de establecer un buen procedimiento para esto dentro del ámbito de la teoría de la relatividad general. En realidad, en muchos casos las observaciones de objetos lejanos no coinciden con este modelo global espacio temporal; entonces, para salvar las apariencias, se recurre a la evolución del universo. Lo que se hace es suponer que se conoce la homogeneidad espacial de algún modo, y se deduce la evolución requerida para hacer las observaciones compatibles con esta suposición (cf. Ellis 2000). Una base observacional que brinda confianza a este marco general es la

2. Se remite al lector interesado a la obra clásica de Peebles (1993) o, en un estilo más divulgativo, a Silk (2001), Harrison (1981) y Pérez Mercader (1996).

notable isotropía de la radiación cósmica de fondo. En cualquier caso, es conveniente no perder de vista la conexión de estos enfoques teóricos con la cosmología observacional. Para aplicar modelos geométricos al universo se necesita establecer un delicado equilibrio estratégico entre observaciones y matemática.

A partir del supuesto de que las leyes del universo a gran escala son básicamente las mismas que encontramos en el entorno terrestre, se estima que un alto porcentaje de la materia existente en el universo no da indicios directos de su existencia. Éste es el problema de la materia oscura y está íntimamente vinculado a la cuestión de la densidad de materia en el cosmos. Este parámetro condiciona a su vez el tipo de modelos de universo y el destino final del mismo, ya que la densidad se relaciona con la posibilidad de que el universo se expanda por siempre o se pueda contraer en el futuro. Hay avances recientes dignos de atención en este sector. Por ejemplo, en base a observaciones de un conjunto muy grande de galaxias distantes, se ha reportado recientemente la detección de distorsiones de imágenes. Esto se interpreta como el efecto de lentes gravitacionales débiles producidas por materia cósmica oscura en grandes escalas (Wittman *et al.* 2000). Lo más llamativo de este caso es que, además de permitir decantar algunos modelos de materia oscura, puede ser un método eficaz para medir la cantidad de ella en el universo y esto tiene gran valor cosmológico. Finalmente, se acepta también en la versión ortodoxa de la cosmología que en una fase temprana del universo hubo desacoplamiento de la materia y la radiación y que, básicamente por inestabilidades, se formaron las estructuras que condujeron a las galaxias.

Recientemente la constante cosmológica ha vuelto a escena y parece que puede contribuir a aclarar el destino del universo. Einstein la introdujo en sus ecuaciones de campo y las razones para su adopción o rechazo han generado ya considerable literatura. Las interpretaciones van desde considerarla como un elemento *ad hoc* en los modelos, hasta ubicarla como parte esencial en nuestra descripción del cosmos. Ella equivale a una fuerza de repulsión que es significativa sólo sobre escalas espaciales muy grandes. La historia de esta constante muestra los vaivenes de un concepto (cf. Earman 2001). Una de sus ventajas es que permite una elección más amplia de modelos cosmológicos que incluyen casos que incluso evitan la singularidad inicial. Una visión actual atendible sin embargo es que es un parámetro adicional que deberíamos introducir sólo si se requiere para explicar las observaciones astronómicas.

El conjunto de tópicos que queda sin consideración aquí es significativo, pero se estima que con lo expuesto se puede vislumbrar el gra-

do de complejidad y de importancia epistemológica que presenta la astronomía actual en su intento de dar una descripción adecuada del cosmos. Por los aportes suministrados por ella, se estima que la teoría de la gran explosión no es completa, pero que constituye un muy buen marco para albergar la mayoría de las observaciones consideradas relevantes. Si bien este marco global no brinda una imagen convincente del comienzo del universo, ni permite predecir claramente su fin, reina bastante confianza en que, si aparece una teoría mejor, ella se incorporará a la de la gran explosión como una descripción parcialmente adecuada del universo observable.

2.3. *Entre la física y el universo primitivo*

A la cosmología actual también le aportan algo la física y la matemática. Sólo se hará aquí una pequeña incursión por ciertas estrategias actuales que intentan vincular algunas áreas de la física con los modelos del universo primitivo[3]. En este sector, la física cuántica ha ido desplazando en buena medida a las teorías clásicas protagonistas. Dado que existe actualmente una gama muy amplia de modelos, y que muchos de ellos son producidos por sectores de la física teórica que todavía está lejos de ser confirmada fehacientemente, es difícil establecer evaluaciones significativas al respecto. Por otra parte, las líneas de investigación son muy sofisticadas y de difícil acceso, por los lenguajes que usan. Por ello, se ilustra aquí sólo una pequeña faceta de un modelo dominante: el modelo inflacionario. En realidad, se trata más bien de una familia de modelos que pretende dar cuenta, a través de argumentos fuertemente abductivos, de las condiciones del universo observable y de sus fases primitivas. Un interesante análisis epistemológico de la cosmología inflacionaria ha sido efectuado por Earman y Mosterín (1999). Dado que esta familia ha generado y sigue generando modelos, se considera aquí que la caracterización de «escenarios» para ellos es adecuada[4].

El modelo inflacionario es básicamente un esquema explicativo que introduce un mecanismo para una fase muy temprana del universo (cf. Guth 1997). Pretende realizar, en su última versión, las siguientes predicciones (Linde 2002): el universo debe ser plano, las perturbaciones de la métrica producidas durante la inflación son adia-

3. Como la producción sobre este punto ya es voluminosa, se remite a la obra clásica de Kolb y Turner (1990) para mayor información.

4. De la copiosa literatura existente, se sugiere Liddle y Lyth (2000) para una introducción a las relaciones entre el tópico y la estructura a gran escala del universo.

báticas, las perturbaciones inflacionarias tienen espectro plano y son gaussianas, las perturbaciones de la métrica podrían ser escalares, vectoriales o tensoriales y la inflación produce mayormente perturbaciones escalares y también perturbaciones tensoriales, pero no produce perturbaciones vectoriales, y finalmente, las perturbaciones inflacionarias producen picos específicos en el espectro de la radiación cósmica de microondas de fondo. Hay un delicado equilibrio entre el grado de complejidad de los modelos inflacionarios y el alcance de estas predicciones. No es fácil chequearlas, dado el estado de las mediciones de muchos de estos parámetros. Además, el escenario inflacionario es muy versátil, y ello suele generar conflictos en relación con las interpretaciones sobre su alcance. A pesar de las dificultades técnicas que presenta y de lo extraño de algunos de los mecanismos explicativos propuestos, no se ha generado hasta ahora un modelo igualmente consistente en cosmología teórica acerca del universo primitivo. La dinámica teórica de los últimos años parece conducirlo a una zona intermedia entre un modelo explicativo y uno predictivo. Como dicen sus propios autores, no se sabe cuál de los modelos de inflación elaborados es el mejor. Tampoco se sabe si el campo físico dominante es un campo escalar, como en el caso de los modelos antiguos y nuevos de inflación o el modelo caótico, o algo todavía desconocido. Hace un par de años ha aparecido una alternativa a la inflación, con la construcción de modelos de universos cíclicos, pero es prematuro aún para los especialistas aventurar predicciones sobre su futuro. Los defensores del modelo inflacionario opinan que éste es todavía la mejor opción en el mercado de modelos cosmológicos asociado al universo primitivo[5].

Un aspecto significativo de estas producciones teóricas es la familia de entidades exóticas que fabrican, usualmente acompañadas de procesos no menos extraños. En la ultima década se han visto emerger modelos de universos basados en fluctuaciones topológicas, condiciones caóticas asociadas con la incertidumbre cuántica, en la teoría de las supercuerdas, en la teoría de las M-branas y en productos híbridos que combinan estos modelos con temas más tradicionales, como la entropía asociada con la evaporación de agujeros negros. Todo hace suponer que este ritmo productivo fuertemente surrealista continuará sin pausa en el futuro, ya que los parámetros de ajuste relacionados con el universo primitivo son escasos y las posibilidades teóricas son notablemente variadas[6].

5. Se remite, para los últimos desarrollos, a Linde (2002).
6. El reciente artículo de Lidsey, Wands y Copeland (2000), sobre cosmología de

Varias de estas construcciones han estado motivadas por las insuficiencias del modelo estándar. Un caso especialmente interesante ha sido la cuestión de la singularidad inicial de la gran explosión. La física clásica conocida no puede dar adecuada cuenta de ella. Las singularidades han constituido un capítulo especial de la historia de la teoría de la relatividad y en los últimos años se tiene un conocimiento adecuado de sus aspectos históricos y epistemológicos (cf. Earman 1995). La singularidad fue considerada en sus comienzos, en relación con los modelos cosmológicos, como una limitación del lenguaje de las ecuaciones. Se esperaba que en un lenguaje más evolucionado desaparecerían. Se idearon modelos con un mecanismo de rebote del universo a los fines de eludirla con ciclos de expansión y compresión, pero no fueron suficientemente exitosos en otros aspectos. Si bien no está excluida la posibilidad de ciclos en modelos con nuevas leyes físicas, bajo ciertas condiciones especiales, Hawking y Penrose (1970) demostraron que bajo ciertas condiciones la singularidad es inevitable. Dicho sea de paso, la evolución de la geometría en el siglo XX ha aportado métodos globales poderosos para el tratamiento de algunos de estos temas clásicos en teorías de espacio-tiempo[7]. Es de recordar que los agujeros negros emergieron a partir de contextos teóricos asociados a singularidades y que, actualmente, se estima su presencia en el centro de muchas galaxias.

2.4. *Modelos alternativos*

Como se dijo, el modelo de la gran explosión domina actualmente en cosmología. Algunas de sus limitaciones son tratadas por las teorías mencionadas del universo temprano, pero ellas aceptan en general la expansión del universo, aunque difieren en la producción de los procesos cósmicos. No obstante, se han generado numerosos modelos alternativos. Una breve lista tomada de Silk (2001) incluye modelos de orígenes cuánticos, con agujeros de gusanos, modelos que evitan la singularidad, modelos caóticos, universos múltiples producidos por los modelos mencionados en el apartado anterior, la teoría del estado estacionario, la teoría de la antimateria de Alfven y Klein, las versiones de gravitación variable, la teoría de Hoyle y Narlikar del universo que se achica, modelos de universo frío, y el modelo de la luz

supercuerdas, con sus más de 400 referencias, muestra el intenso trabajo en algunas de estas líneas.

7. El libro de Hawking y Ellis (1973) sigue siendo una referencia básica. También se sugiere el de Wald (1984).

cansada. Si retrocedemos algunas décadas, el número de ejemplos aumenta considerablemente. Todos ellos han mostrado problemas en relación con las observaciones actuales. Es probable que algunas de estas teorías, como la de Hoyle y Narlikar, puedan adecuarse mejor con algunas prótesis teóricas. Se ilustra aquí sólo el modelo de la luz cansada por ser una de las alternativas más radicales, ya que pone en tela de juicio uno de los pilares de la cosmología ortodoxa: la interpretación del corrimiento al rojo.

La idea de que la radiación electromagnética puede perder energía en su largo viaje por el universo tiene ya larga historia. Ha habido intentos de explicar el corrimiento al rojo como producto de esta pérdida de energía, en lugar del tradicional mecanismo del efecto Doppler. El polvo intergaláctico podría ser un causante de dispersión de la luz. Esta hipótesis no tiene ahora muchos cultores debido a que se han medido corrimientos al rojo en un amplio rango que va desde lo óptico hasta las ondas de radio, y sucede que las partículas de polvo son básicamente transparentes en esta longitud de onda. Además, la dispersión ensancharía las líneas espectrales, cosa que no se observa. El punto más delicado en contra de la teoría de la luz cansada es que ella no puede dar cuenta de la radiación cósmica de microondas de fondo o de la abundancia de los elementos livianos en el cosmos. De todos modos, hay quienes opinan que es prematuro pretender eliminar esta alternativa, aunque presente problemas con la imagen actual. Los corrimientos al rojo constituyen uno de los eslabones más sensibles de la arquitectura cósmica, y por ello, para algunos modelos, representan el talón de Aquiles de la ortodoxia. Halton Arp ha puesto en tela de juicio también la interpretación estándar, basado en sus observaciones de pares de galaxias que se encuentran aparentemente conectadas, pero cuyos corrimientos al rojo difieren significativamente (cf. Arp 1992). Ello evidenciaría la necesidad de alguna interpretación alternativa de los mismos. Arp no ha logrado convencer a sus colegas; entre otras cosas, porque los datos no son concluyentes. En suma, dos conclusiones se pueden extraer de estas investigaciones sobre modelos alternativos: por un lado, el modelo de la gran explosión goza de amplio consenso y, por otro, a través de sus fisuras actuales o zonas inciertas intentan emerger tanto extensiones exóticas como alternativas contrastantes. Sin embargo, este último sector no ha producido resultados de la misma envergadura hasta la fecha.

2.5. *El rol de los parámetros*

Un sector que ha producido muchas especulaciones durante el siglo XX ha sido la existencia de parámetros que tienen eventualmente significado cosmológico. El espectro de motivaciones en este sector va desde actitudes pragmáticas en relación con mediciones de «constantes» cosmológicas o su eventual variación, hasta ejercicios de neopitagorismo en relación con ciertos números adimensionales que aparecen asociados a modelos del universo o a la mera manipulación de valores obtenidos por la física. Una de las razones por las cuales este tema continuará vigente de un modo u otro es porque el conocimiento actual de la física no permite la emergencia natural de ciertas constantes como consecuencia de las teorías. Ello obliga a una convivencia un tanto forzada entre un estilo de teorización en torno a regularidades o leyes científicas, y la obtención de números significativos obtenidos por procedimientos de medición: el clásico conflicto entre leyes y constantes. Éste es uno de los temas importantes de la epistemología de la cosmología, no así la numerología que a veces desencadena. El rol protagonista de los números ha variado y también la cantidad de ellos. Así, para Sandage (1970), un objetivo de la cosmología era la búsqueda de dos números, relacionados con la razón de expansión y desaceleración del universo. Recientemente, Rees (2001) ha popularizado un incremento de estas cantidades a seis. Su objetivo específico es entender mejor estos números básicos: *N*, que expresa la razón entre las intensidades de las interacciones que mantienen unidos a los átomos y la interacción gravitacional; *E*, relacionado con la eficacia nuclear y que incide sobre el tiempo de vida de las estrellas; *O*, que mide la cantidad de materia del universo; *Q*, que expresa la relación entre dos formas de energía que mantiene las estructuras de los cúmulos y supercúmulos de galaxias, y que en consecuencia es central para determinar la textura del universo; *D*, asociado al número de dimensiones espaciales del universo; y *L*, relacionado con una especie de antigravedad cósmica que actúa a escalas muy grandes y que fue determinado hace muy pocos años. Para este autor, estos números configuran una «receta» para un universo. En realidad es poco lo que se sabe de ellos en relación con su origen y significado.

3. HACIA UNA EPISTEMOLOGÍA DE LA COSMOLOGÍA

En esta sección se desplaza el foco de atención hacia algunos contextos en los que aparecen cuestiones epistemológicas asociadas con la

cosmología. El criterio para elaborar el modo de presentación de ellos procede de la aceptación de un pluralismo de contextos, estilos, métodos y evaluaciones de los avances, así como de la divergencia de opiniones de los especialistas respecto del lugar que tiene la cosmología como disciplina científica.

3.1. *La peculiaridad de la disciplina*

Uno de los aspectos que hace a esta disciplina totalmente peculiar es la unicidad de su objeto de estudio. Es frecuente encontrar la afirmación de que, por definición, el universo es uno. También se ha bifurcado esta definición en dos interpretaciones diferentes: *a*) el universo es un todo de partes interrelacionadas de algún modo, y *b*) el universo es un conjunto de entidades y procesos que no necesariamente tienen interacción común: universos-isla sin conexión causal, como es el caso con algunas variantes contemporáneas de modelos de universos múltiples. Éstos varían desde algunos con regiones separadas de un universo más extenso, como en el caso del modelo de la inflación caótica de Linde (1990), hasta extensiones cosmológicas de interpretaciones de la mecánica cuántica, como en la interpretación de los mundos-múltiples (cf. DeWitt y Graham 1973). Dado que la terminología es confusa, conviene aclarar que no todos estos enfoques elaboran propuestas explícitas de modelos cosmológicos. Hay diferencias epistemológicas importantes entre la generación de mundos posibles permitidos por interpretaciones de ciertas teorías y la construcción de modelos en cosmología. Lo que parece razonable con respecto a estos modelos es que si presentan alguna conexión causal, no entrarían en conflicto con el concepto de universo único. Por otra parte, si no tienen interacción con nuestro universo, entonces escapan a las posibilidades cognoscitivas y por lo tanto no hay forma clara de distinguir entre ficción y realidad. Serían algo así como un caso extremo de entidades inobservables. Un caso curioso en nuestra idea de universo es que la armonía presupuesta (cosmos) está estrechamente emparentada con el ideal de unificación. Podría ser el caso de que nuestras expectativas estén condenadas irremediablemente al fracaso, y que nuestro propio universo sea un pluri-verso, con leyes que excluyen cualquier posibilidad de unificación. Se puede imaginar un contexto en el cual las estrategias de unificación funcionen hasta cierto punto y más allá sean sólo un reflejo de nuestros prejuicios acerca de un ser único próximo al ideal de Parménides. Esta opción no parece tener muchos cultores en la práctica cosmológica contemporánea. Por el contrario, existe un marcado optimismo acerca de indicadores cos-

mológicos que abonan el terreno de las teorías de unificación. Sin embargo, filosóficamente es un enfoque atendible.

Algunas consecuencias interesantes se siguen de la aceptación de un universo único. Ellis (1999) ha puesto en relieve las siguientes:

a) No podemos hacer funcionar nuevamente el universo con las mismas condiciones, o con otras, para ver qué pasaría si fueran diferentes, porque no podemos hacer experimentos con el universo como un todo.

b) No podemos comparar el universo con otro similar, ni podemos usar hipótesis estadísticas extraídas de una clase conocida de universos.

c) No podemos establecer científicamente «leyes del universo» que puedan aplicarse a la clase de todos los universos. El concepto de ley no es claro cuando se aplica a un solo objeto. En consecuencia, la relación entre leyes y condiciones iniciales arrastra esta vaguedad conceptual, lo que coloca a la cosmología en una situación diferente a otras disciplinas científicas.

d) Existen problemas para aplicar la noción de probabilidad al universo como un todo. No es claro, por ejemplo, su significado en la elaboración de la función de onda del universo.

Otro tópico que reviste características especiales es el de los principios en cosmología. El modelo estándar ha incorporado el principio cosmológico copernicano, que dice que nuestra perspectiva del universo no es privilegiada. Este principio es fundamental para la mayoría de los modelos cosmológicos contemporáneos. Se lo usa para generar modelos de espacio-tiempo y en ese sentido restringe la familia de geometrías que se suelen adoptar[8]. El principio copernicano es central para la teoría de la gran explosión.

Una versión más fuerte la constituye el principio cosmológico perfecto, que declara que el universo no cambia tampoco en el tiempo; esto es, que tendría el mismo aspecto tanto en desplazamientos espaciales como temporales. Estuvo vinculado a la teoría del estado estacionario, pero actualmente no recibe apoyo de los cosmólogos; en particular, porque no es compatible con la interpretación actual de la radiación de fondo. Es fácil ver que el modelo de universo en expansión está en conflicto con el principio cosmológico perfecto.

Un tercer principio que goza de bastante popularidad es el principio cosmológico antrópico. Este principio enfatiza el lugar especial que tiene la vida en el cosmos en relación con nuestras capacidades

8. Para un tratamiento más detallado de los principios, consultar Bondi (1960). Para el principio antrópico, consultar la erudita obra de Barrow y Tipler (1988).

epistémicas acerca de él. Con pequeñas variaciones de los parámetros conocidos del universo, no sería posible la emergencia de la vida tal como se la conoce en la Tierra. Su punto débil es la vaguedad y la incapacidad de dar predicciones cuantitativas. Tampoco explica por qué el universo es tan regular y tan simple.

Un cuarto principio que tiene larga historia es el principio de Mach, que asocia el principio de inercia local a propiedades globales del universo. Una de las facetas importantes de este principio es que sugiere la influencia del cosmos sobre las propiedades locales, exhibiendo en ese sentido una tendencia opuesta a la dominante, que extrapola características locales al universo en gran escala.

Pareciera ser que no es posible evadir la presencia de principios en las arquitecturas cognitivas acerca del cosmos. Además, a juzgar por el rol que han desempeñado hasta ahora, puede decirse que cada principio conduce a un punto de vista diferente acerca del cosmos. Sin duda, es el principio copernicano el que goza de mayor prestigio y como tal forma parte de nuestra imagen ortodoxa del cosmos.

3.2. *Los aportes de la filosofía de la ciencia*

La cosmología siempre se ha relacionado con áreas de la filosofía[9]. Un ejemplo es la antropología filosófica y el tema siempre vigente del lugar del hombre en el cosmos. Hay también una rica interacción entre filósofos de la ciencia y teólogos respecto de temas como el de la creación desde la nada y sus múltiples interpretaciones, debido principalmente a la evolución que ha tenido el tratamiento del origen del universo como consecuencia de las teorías físicas arriba citadas, y las peculiaridades de algunos de sus conceptos derivados, como es el del vacío (cf. Grunbaum 2000; Saunders y Brown 1991). También se siguen revitalizando argumentos teleológicos, adaptados a modelos actuales del universo. Para expresarlo con palabras de Bunge[10], la cosmología física es particularmente vulnerable a mitos filosóficos y teológicos. El principio antrópico citado arriba ha contribuido a esto, ya que en su versión más fuerte hasta pretende insinuar que somos la razón de ser del cosmos. En este sentido, refleja el dudoso lugar de algunos principios en cosmología.

Los abordajes de la cosmología por parte de los filósofos de la ciencia suelen ser de varios tipos. Un estilo usual es investigar el alcance de los modelos, la explicación científica, la predicción, la pre-

9. Para una introducción, cf. Leslie (1990).
10. En Weingartner y Dorn (1990, 630).

cisión, la analogía, los argumentos abductivos, la génesis y evolución de algunos conceptos e hipótesis, los argumentos producidos por científicos, las heurísticas o el alcance y significado de ciertos formalismos. Se va desde cuestiones muy técnicas, como el análisis de los enfoques bayesianos en el tratamiento estadístico de los datos, hasta los contextos y las tradiciones de investigación. Las fronteras entre la metodología y la epistemología son difusas en cosmología. En filosofía de la física ha habido considerable producción en torno del espacio-tiempo y de la mecánica cuántica (cf. Torretti 1999); en menor escala también se observa un número creciente de trabajos sobre teoría cuántica de campos y teorías unificadas (cf. Auyang 1995; Cao 1999; Callender y Huggett 2001). Es necesario distinguir aquí nuevamente entre los trabajos que hacen alusión explícita a modelos cosmológicos y los que se refieren al universo sólo de un modo general. De cualquier modo, temas como la flecha del tiempo, la entropía, la no-localidad, el azar, entre otros, tienen incidencia directa o indirecta en modelos cosmológicos[11].

Al margen del aporte de estas especialidades de la filosofía de la física, hay temas clásicos que tienen matices especiales en cosmología. Uno de ellos es el concepto de observación. Como nuestra capacidad de movimiento fuera de la Tierra es todavía insignificante, sólo se puede ver el universo desde un punto de referencia local. Esto genera básicamente una proyección bidimensional de la distribución tridimensional de los objetos en el cosmos. Son necesarias cláusulas adicionales para poder pasar de la isotropía que observamos a la homogeneidad de todo el universo. A esto se le puede llamar el problema del «aquí» y el «ahora», debido a que el aspecto temporal es también significativo. Se ha argumentado que la cosmología es una ciencia geográfica e histórica. Una de las grandes lecciones de la física en relación con la cosmología es que lo que se ve, proviene de un pasado lejano. Una limitación adicional de las observaciones está relacionada con la incapacidad de recibir señales de galaxias que eventualmente se encuentran más allá del horizonte visual. Quizás existan muchísimas galaxias que están fuera de nuestro alcance.

Actualmente se obtiene información que cubre un amplio rango del espectro: señales ópticas, de radio, rayos X, gama, infrarrojos, ultravioletas. Esto produce información espectral, imágenes visuales, mediciones de polarización. Es usual en la práctica asumir una actitud realista con respecto al espectro electromagnético. Parece impensable

11. Dada la copiosa literatura sobre estos temas, se sugiere Halliwell, Pérez-Mercader y Zurek (1994) para conexiones entre algunos de estos temas y la cosmología.

la astronomía y la cosmología sin este compromiso ontológico, y ello incide directamente tanto en el tipo de entidades que se asocia con las observaciones, como en la gama de procesos vinculados a ellas. También contribuyen la física de partículas, y en buena medida el conocimiento que se tiene en la actualidad de la interacción gravitacional. Se aspira a obtener pronto señales de ondas gravitacionales y a mejorar los «telescopios» de neutrinos. La situación actual es que los científicos se encuentran en posesión de un tapiz, con fragmentos descriptivos de porciones del cosmos.

Un problema adicional es el del incremento de la incertidumbre con la distancia. Aquí influyen varios factores conocidos, y probablemente algunos que no se conocen. Además de lo ya mencionado en relación con la escala de distancia, se puede perder información por perturbaciones de la materia que se encuentra entre esos objetos distantes y la tierra. La cuestión de cómo aumenta nuestra ignorancia con la distancia impresiona como uno de los temas vertebrales de la epistemología de la cosmología.

La epistemología de la experimentación merece atención especial aquí. Ella se ha dedicado principalmente a la física y, en menor medida, a otras disciplinas experimentales terrestres. Ya la astronomía adolece de una falta notable de reflexión en este ámbito. Buena parte de lo poco que se ha aportado aquí ha venido de los historiadores. Todavía se observan grandes lagunas en áreas como la espectroscopia, la fotometría, las interfases entre óptica y electrónica, los alcances de la óptica adaptativa, los ampliadores de señales, como los dispositivos de carga acoplada (CCD), y numerosos procedimientos exitosos sobre el tratamiento de la información obtenida por algunos de estos instrumentos. No todos estos temas tienen necesariamente impacto epistemológico, pero no es posible captar en todas sus dimensiones la evolución de ciertas ideas, ni el modo en que se instalaron en la ortodoxia actual, sin analizar detalladamente un conjunto de cuestiones vinculadas al diseño de los instrumentos. El caso más notable de los últimos años es el del descubrimiento con el satélite COBE de las fluctuaciones de la radiación cósmica de fondo de microondas (cf. Smoot y Davidson 1994; Partridge 1995). A partir de él, se han llevado a cabo varias decenas de mediciones de estas fluctuaciones y esto incide directamente sobre los modelos cosmológicos.

Este descubrimiento envuelve toda una gama de recursos técnicos de gran sofisticación. Es posible ver aquí todos los matices de la epistemología de la experimentación: el diseño de instrumentos para fines determinados, las posibilidades prácticas de los mismos, la confiabilidad de su uso bajo condiciones extremas, el tratamiento estadístico de

las señales, la distinción entre señal y ruido, la decisión, siempre incierta, acerca de la naturaleza de los hallazgos, el concepto de evidencia involucrado en ellos; en suma, la duda acerca de cuándo termina un experimento. A esto le acompañan múltiples factores sociológicos y tecnológicos que condicionan todas las fases del proceso. Desde el punto de vista de la cosmología, el aspecto más significativo de este ejemplo ha sido la transición de una caracterización de tipo cualitativa sobre huellas de una fase muy primitiva del universo observable a una medición de altísima precisión que extiende el uso de la metrología al límite de las tecnologías actuales. Así como sucedió con la emergencia de la radioastronomía, cada ventana al cosmos está ahora condicionada por el estado del arte del diseño de instrumentos específicos, lo que obliga a revisar constantemente el concepto de observación. Los aportes de telescopios en el espacio, más los observatorios terrestres de última generación, configuran posiblemente el sector de mayor importancia en la investigación cosmológica actual, ya que estas nuevas observaciones permiten ajustar parámetros que discriminan modelos. El otorgamiento en el año 2002 del premio Nobel de física a los diseñadores de «telescopios» de neutrinos es una indicación del lugar que tienen estos aportes en la investigación actual.

De cualquier modo, las especialidades muestran ritmos diferentes en este sentido. No está claro el futuro en materia de detección de ondas gravitacionales, pero hay bastante optimismo al respecto en la comunidad especializada. Los proyectos en curso sobre detectores involucran una red de instituciones con una complejísima planificación que va desde el tratamiento de las señales hasta el diseño de los dispositivos y la ponderación de diferentes modelos de ondas gravitacionales (cf. Robertson 1998). Es difícil evaluar actualmente el impacto que estas eventuales observaciones pueden tener sobre los modelos cosmológicos disponibles, debido a que probablemente la calidad de las observaciones no permita discriminar nítidamente entre diversas alternativas por un buen tiempo.

Un auxiliar con protagonismo creciente en cosmología es la simulación computacional. La evaluación de las implicaciones conceptuales y metodológicas de estas prácticas requiere criterios cercanos a la epistemología, especialmente por el papel de las analogías y la relación entre simulación y experimentos imaginarios. Muchas simulaciones actuales están dando sugerencias importantes para ajustar aspectos dinámicos de modelos de procesos extragalácticos y de la distribución de materia del universo en gran escala. En ellas se colocan miles de masas puntuales y los resultados sugieren modelos posibles; en el argot de los astrónomos, «modelos realistas». Las simulaciones requie-

ren fundamentalmente una clara ponderación de las interfases entre computación y cosmología y éste es un campo muy rico en matices metodológicos[12].

3.3. *Otros aportes*

La epistemología de la cosmología se enriquece de modo especial por los aportes de los historiadores de la física y de la astronomía. Esto ha sido muy visible en la primera mitad del siglo pasado, pero la interacción entre estas disciplinas decae en lo referido a episodios de las últimas décadas. Algunos trabajos han permitido acercarse a controversias importantes, como la existente entre las teorías de la expansión del universo y la del estado estacionario (cf. Kragh 1996), o el gran debate en torno de los universos-isla entre Shapley y Curtis en la década de 1920 (cf. Hoskin 1976). Otros muestran la evolución de algunos conceptos, como fue el caso citado arriba sobre la constante cosmológica. Hay un amplio campo de investigación histórico-epistemológica abierto sobre aspectos relevantes de la cosmología reciente.

Además de la historia de la ciencia, otras disciplinas están contribuyendo de diversos modos a los modelos cosmológicos y por ello pueden ser de interés para una reflexión sobre su incidencia y alcances. Se pueden tomar como ejemplos el lenguaje de los fractales, los procesos que involucran caos y sus derivaciones en sistemas dinámicos, el uso tentativo y la interpretación de su alcance epistémico de teorías matemáticas que comienzan a interactuar con modelos cosmológicos, como es el caso de las variedades complejas, la geometría no conmutativa, ciertas áreas de la topología en relación con invariantes y el concepto de dimensión, y la teoría de nudos. Un estilo usual en estas prácticas suele ser el siguiente: se elabora un modelo visiblemente artificial, con hipótesis poco ortodoxas y entidades teóricas sumamente anómalas, y se le extraen consecuencias a los fines de entender mejor algún aspecto teórico de un ámbito que se quiere estudiar. Cuando las consecuencias ilustran aspectos que estructuralmente son similares a los exhibidos por los lenguajes de otras teorías, se adopta este criterio de plausibilidad en el contexto de búsqueda y a partir de estas similitudes se refuerza esa línea de investigación. Esta dinámica teórica muestra la importancia de la estrategia de resolución de problemas en la emergencia de nuevas entidades teóricas. Es de destacar que este sector no ha sido recibido todavía un adecuado tratamiento epistemológico.

12. Como ejemplo de estas prácticas, se ilustra el punto con el artículo de Bryan (1999).

Se mencionó arriba la computación por vía de las simulaciones, pero allí no termina la interacción entre ella y la cosmología. La teoría de la computabilidad insinúa también un conjunto de cuestiones que pueden contribuir a algunos cambios en la imagen del cosmos. Las reflexiones actuales sobre las relaciones entre física y computabilidad están aportando ideas que pueden terminar influyendo en algunas lecturas del cosmos. Esto vale tanto para el estudio de las bases físicas de la computación como para las bases computacionales de la física. En los últimos años, la analogía entre el universo y una superlativa computadora clásica o cuántica ha producido mucho más que ciencia ficción. Es incierto todavía el lugar que ocupará el enfoque computacional en nuestro modo de ver el cosmos, pero precisamente por ello es digno de una mirada atenta[13].

En un terreno algo más sociológico, es de señalar que un considerable aporte a la epistemología de la cosmología proviene de científicos a veces bastante alejados de la filosofía académica. En este sector hay una variada gama de estilos y enfoques. Existen especulaciones muy imaginativas de científicos destacados (cf., por ejemplo, Smolin 1997), y también sobrias descripciones de interrogantes que afectan a la cosmología. Algunos de ellos, a pesar de manifestar escaso respeto por los aportes de los filósofos en estas áreas, se permiten aventuras intelectuales bastante alejadas de sus prácticas científicas habituales. Muchas de estas especulaciones aparecen en materiales orientados a la divulgación científica, y por ello a veces es difícil decantar algunas ideas altamente originales de exposiciones metafóricas de escaso valor epistemológico. En el mejor de los casos, lo interesante es la mirada del experto, por la originalidad del enfoque o el énfasis en detalles que escapan al filósofo, pero que pueden tener considerable profundidad conceptual.

Continuando con esta pincelada sociológica, existe mucha divulgación sobre cosmología. Sin embargo, pocas áreas de la ciencia son tan proclives a la mala divulgación como ella. Esta actividad conlleva usualmente una actitud persuasiva hacia un realismo ingenuo en torno de entidades o procesos que en muchos casos han salido de teorías de endeble salud. Lo que es aún peor, se suele tomar una explicación plausible de un evento como el certificado de legitimidad del mismo, y ello suele generar fuertes compromisos realistas en torno de mecanismos que sólo fueron diseñados con el objeto de explicar procesos o eventos por variantes de inferencias abductivas. Eventualmente, a partir de estos esquemas explicativos, se generan sugerencias tenden-

13. Cf., por ejemplo, Leff y Rex (1990) y Deutsch (1999).

tes a lograr alguna predicción exitosa. El punto delicado es que participan de esta actividad muchos especialistas destacados. Visto desde el ángulo de una epistemología aplicada, esta dinámica de transmisión de las imágenes del cosmos merece un serio análisis. La reflexión sobre la ciencia no puede excluir las prácticas instaladas en las comunidades científicas ni los contextos valorativos en que estas prácticas se llevan a cabo.

4. EL (DES)ENCUENTRO ENTRE FILOSOFÍA Y COSMOLOGÍA

La cosmología científica convive, no siempre de modo feliz, con perspectivas filosóficas que van desde la metafísica hasta la epistemología de la experimentación. Ante esta riqueza de enfoques, conviene adoptar una caracterización flexible de la disciplina. Para algunos cosmólogos, los objetivos específicos de la misma han variado con el paso de los años, tal como ha sucedido con otras áreas de investigación. Ellos también difieren en la caracterización de la cosmología. Se la ha presentado, desde un extremo ambicioso, como una búsqueda para entender la historia espacio-temporal completa del universo, hasta una versión más modesta en que el objetivo específico es entender las características relevantes del universo observable. La distinción entre el universo y el universo que es accesible a nuestras observaciones astronómicas ha generado distintos niveles de realismo y antirrealismo. De cualquier modo, aun el universo observable está plagado de enigmas.

Como se ha intentado mostrar en el artículo, la dinámica de esta disciplina ha obligado a producir en pocas décadas grandes cambios en la imagen del cosmos. Por ello Turner (2001) ha dicho que ni aun un cosmólogo se atrevería a predecir dónde estará la cosmología al comienzo del próximo siglo. Este científico ha ido más lejos que sus colegas en cuanto a la reivindicación del rango científico de la disciplina, y se ha animado a proclamar la existencia de una cosmología de precisión. Quizás haya intentado extender los logros que la astrofísica ha tenido en casos como el de los púlsares, donde la precisión obtenida en las mediciones de sus periodos rivaliza en calidad con las mejores mediciones terrestres en física de alta precisión. Esta actitud frente a la cosmología contrasta con algunos escépticos actuales, como Disney (2000), para los cuales muchas de las afirmaciones recientes de ella están groseramente infladas. Disney llega a afirmar que descansa sobre una muy pequeña base de datos y que sufre muchas dificultades como ciencia, si es que lo es. Sugiere cautela con las inferencias cosmológicas, y en este sentido su punto de vista es afín al

expresado arriba sobre los peligros de las actitudes realistas apresuradas. Frente a estos extremos, parece razonable un optimismo mesurado, y ése es el enfoque adoptado en este artículo. Como ha expresado Peebles (2000), hay avances en cosmología y existen modelos robustos que dan cuenta razonablemente bien de muchas observaciones importantes. Quizás la lección epistemológica más interesante que puede extraerse de nuestra particular situación en el cosmos es que, dadas las limitaciones de observación comentadas arriba, sólo sobrevive la estrategia de salvar las apariencias en lo referente a las propiedades del universo que están más allá de nuestras posibilidades de intervención pragmática en él. Esto parece compensar y contextualizar el giro pragmático contemporáneo en filosofía de la ciencia.

Una pregunta que surge de todas estas reflexiones es si es posible tener una filosofía robusta de la cosmología, o si es sólo un capítulo especial de la filosofía de la física. Por los argumentos expuestos, las peculiaridades de la cosmología como disciplina científica la ubican como una protagonista sumamente especial en el concierto de las ciencias terráqueas. Y por ello será siempre difícil de clasificar. Como su objeto de estudio no tiene paralelos, la cosmología se nutre inevitablemente de numerosos criterios y enfoques que han formado tradicionalmente parte de la reflexión filosófica. Por otra parte, al igual que en las otras «filosofías de», los tópicos epistemológicos relevantes van desde cuestiones metodológicas hasta consideraciones ontológicas y sociológicas. En cualquier caso, el *status* científico de la cosmología constituye un tema tan importante como descuidado, y ello puede ser un estímulo para nuevas generaciones de filósofos.

BIBLIOGRAFÍA

Arp, H. (1992), *Controversias sobre las distancias cósmicas y los cuásares*, Tusquets, Barcelona.

Auyang, S. (1995), *How is Quantum Field Theory Possible?*, Oxford University Press, New York.

Bahcall, J. N. y Ostriker, J. P. (eds.) (1997), *Unsolved Problems in Astrophysics*, Princeton University Press, Princeton.

Barrow, J. D. y Tipler, F. J. (1988), *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oxford.

Bondi, H. (1960), *Cosmology*, Cambridge University Press, Cambridge.

Bryan, G. (1999), «Fluids in the Universe: Adaptive Mesh Refinement in Cosmology»: *Computing in Science and Engineering* (marzo-abril), 46-53.

Callender, C. y Huggett, N. (eds.) (2001), *Physics meets philosophy at the Planck scale*, Cambridge University Press, Cambridge.

Cao, T. Y. (ed.) (1999), *Conceptual foundations of quantum field theory*, Cambridge University Press, Cambridge.

Deutsch, D. (1999), *La estructura de la realidad*, Anagrama, Barcelona.

DeWitt, B. y Graham, N. (eds.) (1973), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, Princeton.

Disney, M. (2000), «The Case Against Cosmology»: *arXiv:astro-ph/0009092 v 1, 1* (septiembre), 1-9.

Earman, J. (1995), *Bangs, Crunches, Whimpers, and Shrieks*, Oxford University Press, New York.

Earman, J. (2001), «Lambda: The Constant That Refuses to Die»: *Arch. Hist. Exact Sci.* 55, 189-220.

Earman, J. y Mosterín, J. (1999), «A Critical Look at Inflationary Cosmology»: *Philosophy of Science* 66, 1-49.

Ellis, G. (1999), «Before the beginning: emerging questions and uncertainties»: *Astrophysics and Space Science*, 269-270, 693-720.

Ellis, G. (2000), «The Epistemology of Cosmology», en N. Dadhich y A. Kembhavi (eds.), *The Universe*, Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, 123-140.

Greene, B. (1999), *The Elegant Universe*, W. W. Norton & Co., New York.

Grunbaum, A. (2000), «A New Critique to Theological Interpretations of Physical Cosmology»: *British Journal for the Philosophy of Science* 51 (1), 1-43.

Guth, A. (1997), *The Inflationary Universe*, Addison-Wesley, Reading, Mass.

Halliwell, J., Pérez-Mercader, J. y Zurek, W. (eds.) (1994), *Physical Origins of Time Asymmetry*, Cambridge University Press, Cambridge.

Harrison, E. R. (1981), *Cosmology: The Science of the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge.

Hawking, S. W. y Ellis, G. F. R. (1973), *The large scale structure of space-time*, Cambridge University Press, Cambridge.

Hawking, S. y Penrose, R. (1970), «The singularities of gravitational collapse and cosmology», en *Royal Society of London Proceedings*, *A 314*, 529-548.

Hodge, P. (1981), «The extragalactic distance scale»: *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 19, 375-372.

Hoskin, M. (1976), «The 'Great Debate': What really happened»: *J. Hist. Astron.* 7, 169-182.

Hubble, E. (1936), *The Realm of the Nebulae,* Yale University Press, New Haven.

Kolb, E. W. y Turner, M. S. (1990), *The Early Universe*, Perseus Publishing, Cambridge, Mass.

Kragh, H. (1996), *Cosmology and Controversy*, Princeton University Press, Princeton.

Lef, H. y Rex, A. (eds.) (1990), *Maxwell Demon: Entropy, Information, Computing*, Princeton University Press, Princeton.

Leslie, J. (ed.) (1990), *Physical Cosmology and Philosophy*, Macmillan, New York.

Liddle, A. R. y Lyth, D. H. (2000), *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure*, Cambridge University Press, Cambridge.

Lidsey, J., Wands, D. y Copeland, E. (2000), «Superstring cosmology»: *Physics Reports* 337, 343-492.
Linde, A. (1990), *Particle Physics and Inflationary Cosmology*, Harwood Academic.
Linde, A. (2002), «Inflationary Theory versus Ekpyrotic/Cyclic Scenario»: *arXiv:hep-th/0205259* (26 de mayo), 1-22.
Partridge, R. (1995), *3 K: The Cosmic Microwave Background Radiation*, Cambridge University Press, Cambridge.
Peebles, P. (1993), *Principles of Physical Cosmology*, Princeton University Press, Princeton.
Peebles, P. (2000), «Concluding Remarks»: *arXiv:astro-ph/0011252 v 1* (13 de noviembre).
Pérez Mercader, J. (1996), *¿Qué sabemos del universo?*, Debate, Madrid.
Perlmutter, S. *et al.* (1999), «Omega and Lambda from 42 High-Redshift supernovae»: *The Astrophysical Journal* 517, 565.
Rees, M. (2000), *New Perspectives in Astrophysical Cosmology*, Cambridge University Press, Cambridge.
Rees, M. (2001), *Seis números nada más*, Debate, Madrid.
Riess, A. et *al.* (1998), «Observational Evidence from Supernovae for an accelerating Universe and a Cosmological Constant»: *The Astronomical Journal* 116, 1009.
Robertson, N. (1998), «The Future of Interferometric Gravitational Wave Detectors», en N. Dadhich y J. Narlikar (eds.), *Gravitation and Relativity: At the turn of the Millennium*, Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics, Pune.
Sandage, A. (1970), «Cosmology: a search for two numbers»: *Physics Today* (febrero), 34-41.
Saunders, S. y Brown, H. (eds.) (1991), *The Philosophy of Vacuum,* Clarendon Press, Oxford.
Silk, J. (2001), *The Big Bang*, W. H. Freeman and Co., New York.
Smolin, L. (1997), *The Life of the Cosmos*, Oxford University Press, Oxford.
Smolin, L. (2001), *Three Roads to Quantum Gravity*, Basic Books, New York.
Smoot, G. y Davidson, K. (1994), *Arrugas en el tiempo,* Plaza y Janés, Barcelona.
Torretti, R. (1999), *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, Cambridge.
Turner, M. (2001), «A Sober Assessment of Cosmology at the New Millennium»: *arXiv:astro-ph/0102057 v 1* (3 de febrero), 1-9.
Wald, R. (1984), *General Relativity*, The University of Chicago Press, Chicago.
Wallerstein, G. *et al.* (1997), *Synthesis of the elements in stars: forty years of progress*, «Reviews of Modern Physics», vol. 69 (4), 995-1084.
Weingartner, P. y Dorn, G. (eds.) (1990), *Studies on Mario Bunge's Treatise*, Rodolpi, Amsterdam.
Wittman, D. *et al.* (2000), «Detection of weak gravitational lensing distortions of distant galaxies by cosmic dark matter at large scales»: *Nature* 405, 143-148.

dades materiales y logísticas de los ejércitos puede rastrearse en la gran guerra (MacLeod 1995)[2], el tipo de saberes requeridos entonces se asociaban, sin duda alguna, con la geología del siglo XIX. El descubrimiento de los materiales radioactivos había inaugurado, por su parte, las posibilidades de las ciencias de la Tierra del nuevo siglo XX.

1. INTRODUCCIÓN

La afirmación que establecía que «era imposible llevar una montaña al laboratorio» (Hagner 1970, 300) hoy no puede ser sostenida con la misma fuerza que se utilizaba cuando se discutían los métodos de la geología en la década de 1960: el desarrollo de instrumentos para datar, medir y registrar episodios y fenómenos remotos con precisión creciente ha llevado a la posibilidad de estudiar a la Tierra como un objeto de laboratorio y a observar al planeta «desde fuera». Más aún, las imágenes de las profundidades Tierra, al igual que las procedentes de las primeras investigaciones oceanográficas, que no se podían basar en la observación directa de su objeto (cf. Höhler 2002), fueron *creadas* mediante técnicas de investigación remota. A través de definiciones científicas, de mediciones sistemáticas y de representaciones gráficas, las regiones del planeta inaccesibles a la observación, como las profundidades oceánicas, el manto terrestre o la ionosfera, se transformaron en representaciones espaciales de volúmenes definidos de manera técnica y científica. De igual manera, la interrelación entre las interpretaciones y los datos provistos por los aparatos y los experimentos de las ciencias del espacio contribuyó a disolver casi definitivamente aquella frontera cuestionada en los inicios de la modernidad (cf. Kuiper 1954).

Por otro lado, el desarrollo de aparatos e instrumentos que siguió al fin de la segunda guerra mundial (cf. Glen 1982; Dalrymple 1991) se corresponde, al menos en los Estados Unidos, con la preocupación por el tipo de instrucción que se impartía a los estudiantes de las ciencias terrestres (Albritton 1970, 5). Tal es así que, en 1946, el Consejo de la Geological Society of America nombró un comité para que investigara el estado de la educación geológica y, en consecuencia, ofreciera condiciones para su mejoramiento. Este informe, que se publicó

2. En ambos frentes se necesitó un detallado conocimiento del lugar para construir las trincheras y encontrar agua potable. Asimismo, el Tratado de Versalles contó con el asesoramiento de geógrafos y geólogos en el trazado de los nuevos límites de los países europeos, para asegurarse de que los recursos mineros quedaran del lado correcto de la frontera.

en 1949, reflejaba el interés por aquello que la Sociedad consideraba la filosofía de la geología y que continuó, en las décadas de la guerra fría, a través de diferentes iniciativas. De ellas resultó la publicación de *The Fabric of Geology*[3], obra editada en 1963 por Claude C. Albritton, Jr. (1913-1988), un geólogo que marcó varias líneas de investigación en áreas tan diversas como la historia y la filosofía de la geología (Albritton 1970, 1986) o el estudio de los cráteres causados por impacto (cf. Brooks 1989, 101).

Por entonces, las obras y discusiones de Hempel y de Nagel resonaban en las ciencias de la Tierra, en particular en los debates sobre la explicación de acontecimientos singulares que tenían lugar en el contexto anglosajón (cf. Simpson 1970). De esta manera, Albritton (1970, 5) recordaba que en aquel informe de postguerra que mencionamos más arriba, los consejeros «aseguraron que la estructura lógica de la ciencia geológica tendría que ser reexaminada 'desde sus cimientos'». Como se desprende de este artículo, esa llamada de atención dio sus resultados: desde hace varias décadas distintos grupos de geólogos y de geofísicos han estado atentos al examen de las novedades que se registraban en sus disciplinas y a la reflexión sobre la historia y las maneras de enseñar estas ciencias[4] (Sellés Martínez 2001, 2002).

Así, en 1964, firmando el prólogo de la segunda edición de su manual introductorio *Geología física*, Arthur Holmes (1890-1965), recordaba que «de todos los geólogos que han existido y existen, aproximadamente el 95% están vivos y trabajando activamente. Para los geofísicos el porcentaje es naturalmente mayor» (Holmes y Holmes, 1980, v). La conciencia del desarrollo de la profesión y del crecimiento del número de sus practicantes no era un rasgo exclusivo[5] de este geólogo inglés que, desde muy joven, había trabajado en un marco que reunía la geología con los problemas de la física del siglo XX (Allwardt 1988; Frankel 1978). En la misma línea, en octubre de 1988,

3. Esta obra fue traducida al español en México en 1970 como *Filosofía de la Geología*. Se publicó conjuntamente por la Compañía Editorial Continental y por el Centro Regional de Ayuda Técnica de la Agencia para el Desarrollo Internacional del Departamento de Estado del Gobierno de los Estados Unidos de América. El Centro era una organización dedicada a la producción de versiones al español de material fílmico e impreso de los programas de cooperación técnica de la Alianza para el Progreso.

4. Recordemos que el *Journal of geological education* se publica desde 1951 por la National Association of Geology Teachers de los Estados Unidos. Aunque no directamente ligado a esta historia, citaré el caso de la Universidad de Campinas, Brasil, donde el Instituto de Geociencias (IGE) se vincula a la enseñanza de la geología y a los estudios sociológicos e históricos de la ciencia (cf. Figueirôa y Lopes 1994).

5. Por esos años, Derek della Solla Price evaluaba el desarrollo de la ciencia a través de cuantificaciones similares.

el número 41 de la revista *EOS*, órgano de la asociación estadounidense de geofísicos, publicaba en su portada una tabla que, cuantificando el número de sus miembros, demostraba el crecimiento exponencial de la disciplina a partir de 1930. De 200 socios, esta unión geofísica había pasado a congregar a más de 20.000; el gráfico, a la vez, incluía los tres hitos históricos que podían conectarse con dicha evolución: la segunda guerra, el Año Geofísico Internacional y el lanzamiento del primer *Sputnik*.

Subrayemos también que los profundos cambios ocurridos en la práctica de las geociencias —que incluyen el aumento considerable de técnicas tradicionalmente consideradas «no geológicas» en la solución de problemas geológicos— fueron contemporáneos a la «popularización» de la idea de revolución científica de Kuhn. Singularmente, los mismos científicos percibieron y describieron los procesos que estaban viviendo —y el lugar que desempeñaban en ellos— como una auténtica revolución de cuño kuhniano. La teoría de la tectónica de placas, que sostiene que los rasgos más importantes de la superficie de la Tierra son creados por movimientos horizontales de la litosfera, fue desarrollada en la década de 1960. Su aceptación es vista, desde los inicios de los años setenta, como uno de los acontecimientos más importantes de las ciencias del siglo XX. Más aún, para muchos geólogos y geofísicos fue equivalente a haber experimentado en vida una revolución análoga a la copernicana (cf. Wilson 1976, prefacio). En esta línea, Arthur Holmes reconocía que en los veinte años que habían mediado entre las dos ediciones de su manual, se había escrito «casi un nuevo libro» y listaba, con expresiones llenas de entusiasmo, los elementos que habían contribuido a «revolucionar» la geología y la geofísica en esas dos décadas:

> La datación radiométrica de minerales y rocas y la consecuente posibilidad de estimar las magnitudes de algunas de las actividades de la Tierra a largo plazo; el concepto de reidez; la multitud de complejas consecuencias de las eras glaciales; las extraordinarias sorpresas, que contradicen todas las perspectivas, con que han sido recompensados los exploradores de los suelos oceánicos, particularmente la delgadez de la corteza oceánica y su joven capa de sedimentos de las profundidades marinas, paradójicamente combinadas en muchos lugares con una cantidad de flujo de calor que nadie podría haber previsto; la creciente evidencia de que la Tierra se está expandiendo más que contrayendo; las posibles fuentes de energía necesarias para mantener la «maquinaria» interna de la Tierra en marcha; el mantenimiento de los continentes sobre el nivel del mar y la elevación de las mesetas; las contorsionadas estructuras de las cadenas montañosas y el reconocimiento del deslizamiento por gravedad como un importante factor

> del plegamiento de las rocas; y, finalmente, el magnetismo conservado en rocas antiguas como una brújula que sirve para el estudio de la deriva de los continentes (Holmes y Holmes, 1980, vi).

Cuando en 1978 Doris Reynolds (1899-1985), viuda de Holmes, revisaba la tercera edición, la hipótesis de la tectónica de placas ya era presentada como una teoría que explicaba y correlacionaba la mayoría de las características de la Tierra. La tectónica global había logrado crear una matriz para entender el planeta y su historia como un todo.

En relación a esta idea de totalidad, Good (1998*a*) argumenta que los problemas de la historiografía de las ciencias de la Tierra están íntimamente relacionados con la escala y el método de las disciplinas involucradas. Los geólogos trabajan y manipulan objetos sumamente pequeños y unidades de materia que son mucho más grandes que el observador: la escala, en la geología, varía desde lo submicroscópico a lo planetario y desde la estructura de los cristales hasta la estructura de la Tierra (Hagner 1970, 299). Una matriz geológica implica pensar acerca de periodos inmensos de tiempo, unidades muy grandes de materia y la interacción de variables complejas. Sobre todas las cosas, los geólogos reconocen que se enfrentan al estudio de fenómenos que no pueden transferirse dentro de las «percepciones reales» de los sentidos y tampoco comprobarse por la experiencia directa (Hagner 1970, 301).

Entre las preocupaciones contemporáneas de los filósofos de las geociencias se pueden mencionar las siguientes: la naturaleza de estas disciplinas y la posibilidad de establecer leyes geológicas (Bradley 1970; Guntau 1989); la dimensión, medición y naturaleza del tiempo geológico (Albritton 1970, 1986; Gould 1987); y, en los últimos años, la relación entre el conocimiento y los dispositivos visuales, tales como los mapas y los perfiles geológicos (Rudwick 1976). Si bien existe acuerdo en definir a la geología como una ciencia histórica, referida a acontecimientos y a procesos que no pueden ser repetidos (Bubnoff 1948, citado en Guntau 1989; Simpson 1970), el mismo se desvanece al tratar de definir la relación de la geología con las leyes naturales. Guntau (1989, 108) reconoce dos tendencias: una que percibe a la geología como ciencia ideográfica, ligada al estudio de fenómenos únicos, no sujetos al principio de causalidad ni a la búsqueda de regularidades o leyes. La segunda, que estima que el objetivo de la geología es atribuir los acontecimientos y procesos geológicos a las leyes de la física y de la química.

Vinculadas a ellas, aparecen las discusiones sobre el «actualismo», el «uniformismo» y el «catastrofismo». Recordemos que William Whe-

well (1794-1866), al reseñar los *Principles of Geology* de Charles Lyell (1797-1875), acuñó los dos últimos términos para enfrentar la doctrina de este último a la de sus oponentes (cf. Rupke 1983). Como resume Spanagel (1998, 3), el «actualismo» se define por el aforismo que proclama que los geólogos deben intentar explicar el pasado refiriéndose a causas que operan en la actualidad. El «uniformismo» se identificó con la metodología de Lyell e incluye los siguientes aspectos: uniformidad de ley y de la naturaleza (las características inmanentes del universo material no han cambiado en el curso del tiempo), uniformidad de proceso (lo que equivale al «actualismo»), uniformidad de ritmo (es decir, gradualismo), uniformidad de escala (los desastres naturales observables a escala estrictamente local no deben considerarse como actuando en una escala global), y uniformidad de estado (por lo que se desechaba la idea que entendía la historia de la Tierra como un proceso que llevaba a transformarla en un lugar para la vida de los humanos) (cf. Gould 1987, 99-180; Hoykaas 1959). A fines del siglo XIX[6], el «catastrofismo», continuando la versión dicotómica esbozada por Whewell, era juzgado en términos rotundamente negativos. Más aún, se tomaba como una denominación despectiva para acusar de «no científica» a toda explicación que recurriera a procesos no uniformes, identificándola con las posturas de los literalistas bíblicos o con los defensores de la historicidad del diluvio universal (cf. Numbers 1992[7]; Pelayo 1999; Rudwick 1997; Rupke 1983).

Sin embargo, en el siglo XX se ha detectado un número apreciable de fenómenos geológicos específicos de algunas fases de la historia de la Tierra y que no pueden ser detectados en la actualidad. Guntau (1989, 107) da, entre otros ejemplos, los siguientes: los procesos de migración geoquímica de ciertos elementos en condiciones determinadas por una composición de la atmósfera terrestre diferente de la conocida, y los efectos de las fuerzas dinámicas exógenas antes que la superficie de la Tierra se cubriera de vegetación. Estos hallazgos de

6. Esta visión continuó dominando la historiografía y el «sentido común» de los geólogos y paleontólogos de gran parte del siglo XX (cf. Simpson 1970).

7. Un tema de debate que no se desarrollará en este artículo, por considerarlo demasiado ligado al contexto estadounidense, se refiere precisamente a las pretensiones científicas de los «literalistas bíblicos» en geología. El trabajo de Numbers consiste en una excelente fuente a la cual el lector puede referirse para estudiar este fenómeno de la sociedad norteamericana. Por otro lado, el trabajo de Dalrymple sobre la edad de la Tierra muestra la preocupación de ciertos grupos por el avance de tales tendencias y por la importancia pública que cobran estas posturas en la educación y los medios de los Estados Unidos. En el prefacio de su libro, Dalrymple (1991, vii-x) comenta los juicios en los que actuó como un testigo habilitado para refutar los argumentos de los creacionistas, probando la antigüedad de la Tierra a través de las dataciones radiométricas.

regularidades particulares, detectadas en la formación de ciertas rocas, que no se repiten en toda la historia del planeta sino que son propias de determinados periodos, cuestionó la validez y los límites del concepto de uniformismo tal como había sido establecido por Charles Lyell en el siglo XIX. Lyell postulaba que la historia de la Tierra podía concebirse como una especie de presente anterior, postura que le permitía explicar el pasado a través de analogías con los fenómenos del presente. Como comenta Guntau (1989, 107), Lyell concebía a las leyes naturales como operando eternamente y creía en la existencia eterna de toda ley natural. La idea de que la naturaleza cambia en el tiempo, así como la naturaleza histórica y los largos periodos temporales de la geología, condujeron a que algunos geólogos reconocieran que no se puede afirmar que lo que hoy aparece como verdadero deba aceptarse de la misma manera para los periodos geológicos precedentes. Esto ha llevado a pensar que las *leyes geológicas* tienen un carácter histórico y están íntimamente vinculadas con el tiempo (Guntau 1989), que a inicios del siglo XX seguía siendo para los geólogos una cosa extraña[8].

2. ¿QUÉ QUEDA POR DESCUBRIR EN LA TIERRA?

En la primera entrega de la revista *Globus* del año 1900, la editorial se preguntaba qué quedaba por descubrir en la Tierra (Singer 1900). La pregunta, que se refería a los territorios no explorados de algunos continentes, se resolvía mostrando las áreas no visitadas por el ojo del explorador, que permanecían como manchas negras en los mapas. Desde el punto de vista de la geología, el siglo XX parecía iniciarse con algunos problemas medianamente resueltos. Uno de ellos, la clasificación de los estratos de la Tierra y su nomenclatura. Por otro lado, la pregunta acerca de las causas actuantes en la formación de la corteza terrestre se había cerrado, aparentemente, gracias al triunfo de los principios de Lyell. Por ese entonces, las polémicas del siglo XIX formaban parte de una historia que, como vimos, había sido reducida a la oposición expresada en los términos «uniformismo» y «catastrofismo».

Una de las preguntas que el nuevo siglo XX encontraba sin una respuesta convincente se refería a la edad de nuestro planeta. Los de-

8. «El tiempo es una cosa extraña» («Die Zeit, die ist ein sonderbar Ding») es la frase con la que la Mariscala inicia su discurso sobre el tiempo en el primer acto de *Der Rosenkavalier* de Hugo von Hoffmansthal (1911).

bates se centraban alrededor de las ideas de William Thomson (Lord Kelvin 1824-1907), quien, argumentando en contra del uniformismo geológico, postulaba un proceso direccional de enfriamiento de la Tierra desde un estado incandescente original. A partir de una serie de ecuaciones, y apoyándose en una base teórica procedente de la física, propuso una edad que podía oscilar entre los veinte y los cincuenta millones de años (Burchfield 1975). Los geólogos, en cambio, abogaban por una edad mucho mayor, en base al tiempo requerido para la formación de los registros fósil y geológico. Sin embargo, los métodos basados en asumir la constancia de los procesos físicos (como los cambios en los ritmos de erosión y de acumulación de los sedimentos) no proveían fechas consistentes, dado el desconocimiento que reinaba —y reina— sobre las condiciones iniciales de estos fenómenos.

Un acontecimiento central para la física teórica dio lugar a nuevas interpretaciones sobre la evolución térmica, la edad y el interior de la Tierra (cf. Brush 1979). En efecto, el descubrimiento de la radioactividad en 1896 condujo a considerar que la cantidad de calor emitida por un cuerpo del tamaño de la Tierra tendría que ser enorme y, por lo tanto, cuestionaba los ritmos propuestos por Lord Kelvin. Por otra parte, creó la condición de posibilidad para hallar un método cuantitativo basado en la tasa constante de desintegración de los elementos radioactivos presentes en las rocas y en los minerales; es decir, para definir un reloj físico independiente del cambio geológico. Fue E. Rutherford (1871-1937) quien, en 1904, sugirió que la acumulación de helio y de plomo en los minerales de uranio podía utilizarse para la datación de los mismos. La radioactividad fue prontamente adoptada para resolver problemas geológicos por algunos equipos de los Estados Unidos de América y de Inglaterra: en el periodo que va de 1905 a 1911, B. Boltwood (1870-1927), R. Strutt (1875-1947) y A. Holmes demostraron que la proposición de Rutherford era correcta y, para 1911, Holmes había compilado una tabla de fechas obtenidas siguiendo tal principio. Las nuevas fechas que surgían del análisis radiométrico contrastaban también con las que habían arrojado los cálculos basados en la supuesta uniformidad de los ritmos geológicos. Holmes cuestionaba la uniformidad de estos últimos y asumía la de la desintegración radioactiva, afirmando que, como en el caso de la erosión, ésta debía haber sido menor en el pasado. La radioactividad contribuía así a arrojar al siglo XIX la idea de que el presente era una clave fiable para descodificar el pasado, dado que muchos de los ritmos actuales de varios procesos geológicos estaban por encima de lo normal. Los geólogos que confiaban en la ra-

dioactividad (cf. Brush 1978) se enfrentaban al fantasma de Lord Kelvin. El error de sus estimaciones acerca de la edad de la Tierra sobrevivió, por muchos años, como una prueba de los peligros a los que se arriesgaba quien intentara entender los procesos geológicos dejando de lado la observación, la descripción y la clasificación para perderse en las tentaciones del experimento y del cálculo.

En este camino, en 1921, H. Russell propuso que la corteza terrestre podía ser tomada como un único reservorio geoquímico y datada por el cambio en la tasa del isótopo inestable al estable (Dalrymple 1991). Desde mediados de la década de 1950, se han venido desarrollando y perfeccionando distintos instrumentos y métodos de datación radiométrica basados en la descomposición de los isótopos del uranio, potasio, rubidio, samario, renio y lutecio en sus respectivos productos plomo, argón, estroncio, neodimio, osmio y hafnio. De esta manera, se puede afirmar que los inicios del siglo XX coinciden con una época en la que las cosas se transforman en su propio reloj. En efecto, a partir de entonces, los productos materiales de los procesos que ocurrieron en la Tierra se utilizan como medida de su tiempo, proceso que culmina con el desarrollo de los espectrómetros de masa y, como veremos más delante, con el uso de los isótopos radioactivos para determinar la edad del sistema solar (Thomas, 1998, 18).

Se ha subrayado (Albritton 1986, 9; Hagner 1970, 296) que la idea de tiempo geológico[9] puede valorarse como la contribución más importante de la geología y de las ciencias naturales al pensamiento general, equiparable a la relación entre materia y energía de la física y a la verificación de los astrónomos relativa a la vastedad del espacio. Hagner (1970, 298) había señalado que la geología se diferenciaba de otras ciencias precisamente por su interés por el tiempo y por los procesos y reacciones que, al verificarse de manera tan lenta, son inobservables en el laboratorio pero fundamentales cuando operan a través de millones de años. Hoy se acepta que la mayoría de los procesos geológicos actúan muy dilatadamente en un tiempo geológico inconcebiblemente largo (Holmes y Holmes 1980, 32): la edad de la Tierra ha quedado establecida en unos 4.500 millones de años y los efectos de estos procesos lentos actuando durante extensos periodos han servido para explicar casi todas las sucesivas transformaciones del paisaje de que la Tierra ha sido testigo.

9. El concepto de un tiempo geológico se conecta con el ambiente y los movimientos de fines del siglo XVII, donde se empezaba a definir el tiempo matemático de la física moderna (cf. Schneer 1989, 103).

3. EL AÑO GEOFÍSICO INTERNACIONAL

Sesenta años más tarde de aquella pregunta formulada en *Globus*, J. Tuzo Wilson (1908-1993) comentaba que, para entonces, ya no había tierras desconocidas, y que las nuevas fronteras para la aventura estaban representadas por los pisos oceánicos y por el espacio infinito (Wilson 1961, 105). Con esta expresión, este geofísico canadiense coloreaba los escenarios en los que se estaba viviendo la guerra fría y la carrera por el desarrollo de nuevas tecnologías, utilizables tanto en la ciencia como en el espionaje. En este marco, paradójicamente, tuvo lugar una iniciativa surgida bajo el lema del internacionalismo científico.

En efecto, en las primeras horas del 1 de julio de 1957, varios investigadores del planeta saludaban el inicio del Año Geofísico Internacional (IGY), concebido —según el testimonio de uno de sus promotores— como una empresa, a escala global, que coordinaba esfuerzos en sesenta y siete países para «incluir a la Tierra en los patrones del universo, relacionar sus partes aisladas, descubrir el orden oculto e interpretar el todo en relación con el espacio, especialmente con el Sol, la influencia más importante en el espacio cercano» (Wilson 1961, 6). El IGY reconocía como antecedentes a los Años Polares Internacionales (1882-1883 y 1932-1933) y a las asociaciones científicas que se reunían periódicamente desde 1919, como las de Geodesia y Geofísica, Geografía, Astronomía, Física y Radio. En 1950, la conciencia de las nuevas técnicas y vehículos desarrollados a raíz de la segunda guerra mundial y el estado alcanzado por los instrumentos electrónicos llevaron a elegir el año 1957, para el que se esperaba una máxima actividad solar, como el año mundial de la geofísica. Los organizadores de este acontecimiento acordaron que todos los datos obtenidos a escala global, durante y gracias al programa del IGY, debían circular libremente, estableciéndose tres centros para su recopilación: uno en Washington, el segundo en Moscú y un tercero distribuido en distintas ciudades europeas. Cada uno de los países participantes se comprometía a enviar la información a, por lo menos, uno de ellos, el cual, a su vez, se encargaba de asegurar su distribución.

El comité que coordinó el IGY dictó instrucciones especiales y cada uno de los países miembros estableció, asimismo, sus propios programas, sus equipos y sus planes científicos. Por su parte, los gobiernos nacionales fueron cruciales en el financiamiento[10] y apoyo lo-

10. Por ejemplo, la National Science Foundation invirtió 43 millones de dólares en las actividades estadounidenses del IGY, de los cuales prácticamente la mitad se destinó al programa de satélites *Vanguard*. Los programas oceanográficos, en comparación, recibieron un poco más de 2 millones (Keuren 2000, 93).

gístico necesarios para la recogida de los datos en las áreas en las que se acordó cooperar: meteorología, magnetismo terrestre, auroras, ionosfera, actividad solar, rayos cósmicos, longitud y latitud, glaciología, oceanografía, cohetes y satélites, sismología, gravimetría, radiación nuclear. De alguna manera, los programas del Año Geofísico Internacional representan la expansión de aquello que caracterizó la actividad de la British Association for the Advancement of Science (Morrell y Thackray 1981, 512-531) y que fuera percibido como el desarrollo del programa humboldtiano (cf. Dettelbach 1996; Bravo 1998; Podgorny y Schäffner 2000); es decir, el tendido de redes jerárquicas de científicos y amateurs que trabajan, según un programa de instrucciones, en la recopilación de datos sobre la totalidad de la Tierra; información que, a su vez, se concentra en centros de almacenamiento, procesamiento y síntesis.

Como señala Millbrooke (1998, 478), el aspecto más espectacular y novedoso del IGY consistió en el uso de satélites artificiales para llevar a cabo esas tareas. Luego de la segunda guerra mundial, los cohetes impulsados por combustible líquido y sólido habían empezado a utilizarse para la exploración científica de la atmósfera superior y del espacio cercano. Estos cohetes, casi sin excepción, se originaron en los proyectos para el desarrollo de artillería militar o resultaron de la modificación de cohetes militares adaptados para fines científicos. De alguna manera, el hecho de que la ingeniería de los cohetes se ligara desde sus inicios a programas militares hizo del programa espacial internacional un retoño de la carrera armamentista de la guerra fría (DeVorkin, 1998, 726). Recordemos que la tecnología desarrollada por Alemania en Peenemünde (isla de Usedom) en los últimos años de la segunda guerra mundial, fue aprovechada luego por los norteamericanos y por los soviéticos (DeVorkin 1998, 727). En octubre de 1957, la Unión Soviética logró poner en órbita al *Sputnik*, el primer satélite artificial, definido —con evidente euforia— como la segunda Luna de nuestro planeta. El *Sputnik*, cuya caída se produjo unos meses más tarde, fue el primero de la serie de diez satélites lanzados en el curso del IGY. Los relatos autobiográficos de científicos sin duda entusiastas de la cooperación internacional no dejan de señalar la ambigüedad de reacciones que les provocó este éxito soviético (cf. Wilson 1961, 52-87). En los ambientes políticos, en cambio, la reacción fue más contundente: en noviembre de 1957 el Comité Asesor en cuestiones científicas del Presidente de los Estados Unidos se reunía para discutir el estado de la ciencia de la Nación. El comité publicó un primer informe en 1958 (*Strengthening American Science*) donde definía los campos en los que el país debería invertir sus es-

fuerzos para competir con los soviéticos[11]. Allí figuraban, entre más de una docena de disciplinas, la geofísica, la oceanografía, la meteorología y la radioastronomía[12] (Keuren 2000, 97).

Las satélites *Sputnik* y *Vanguard* se dedicaron a tomar medidas geodésicas; así como a registrar las reacciones fisiológicas de los animales lanzados al espacio, los rayos X, cósmicos y ultravioletas, la presión y la composición química de la atmósfera, la concentración de iones positivos, el campo geomagnético, el potencial eléctrico del mismo satélite, la intensidad de radiación solar, la composición de los rayos cósmicos, los micrometeoritos, la cubierta de nubes de la Tierra. Como en la Tierra en los siglos anteriores, los nuevos espacios fueron colonizados a través de los nombres. La cara oculta de la Luna no puede esconder su «descubrimiento» soviético: la Academia de Ciencias de la URSS bautizó los nuevos mares y cráteres fotografiados por el *Lunik III* en 1959 con los nombres del panteón internacional de científicos y con otros que proyectaban la geografía de la URSS en la Luna.

Los satélites, al traspasar la altura de esas capas, «resolvieron» el problema de observación del universo creado por el filtro que representa la atmósfera. Podría decirse que, gracias al instrumental de los satélites, los científicos se enfrentaron por primera vez a la «verdadera apariencia del universo desnudo» (Wilson 1961, 21). El Sol, la cara oscura de la Luna y la misma Tierra pudieron ser «vistos» a través de las cámaras instaladas en los satélites. Recordemos, sin embargo, que no se trataba de observaciones directas: los datos registrados en el espacio se enviaban a la Tierra, donde se coordinaban y decodificaban en función de aquellos tomados en los observatorios. Hasta 1960 no se pudo recuperar nada material de los satélites. Antes del IGY, ya se habían logrado rescatar fotografías de la Tierra tomadas a gran altura, así como impresiones fílmicas que registraban la impronta de los rayos cósmicos. Conectado con las observaciones realizadas desde los satélites, se encuentra el desarrollo de la espectrografía remota, es decir, de la determinación a través del análisis de la luz de los elementos presentes en la fuente emisora. Así, a través del uso de los satéli-

11. En aspectos más concretos, en el año fiscal de 1959, luego del lanzamiento del *Sputnik*, el presupuesto de la National Science Foundation tuvo un incremento enorme (Keuren 2000, 93).

12. Es decir, el uso de señales de radio de más allá de la Tierra para obtener información sobre nuestro planeta que, a través del uso coordinado de radiotelescopios distribuidos en varios continentes, ha permitido, en las décadas de 1970 y 1980, estudiar con mucha precisión la dinámica de la corteza terrestre midiendo el movimiento tectónico de las placas corticales y la deformación gravitacional del planeta.

tes y de los principios de la espectroscopia[13] aplicados a los minerales, se pudo adquirir una idea más acabada de la forma y naturaleza del Sol. La espectrometría remota ha repercutido, además, en la exploración de nuestro planeta, provocando un cambio bastante sustancial en uno de los rasgos más distintivos de la práctica de la geología como es el trabajo de campo (cf. Clark 1999; Kruse 1999; Sabine 1999, para un estado contemporáneo de estas técnicas).

El uso de los satélites también ha transformado las técnicas cartográficas y geodésicas. Como comenta Edney (1998, 85), los estados industriales y los ejércitos de los dos bandos de la guerra fría propiciaron el desarrollo de nuevas técnicas cartográficas para mejorar la prospección y la producción de mapas. Las técnicas de sensores remotos, iniciadas por la fotografía aérea en las décadas de 1930 y 1940 y continuadas por los satélites, fueron perfeccionándose para permitir la observación de los territorios enemigos. Actualmente, mediante emprendimientos en los que se combinan iniciativas académicas y comerciales, la base mundial de datos geográficos se está trasladando a una forma digital. La coordinación de los satélites de sistemas tales como el GPS (Global Positioning System) con sistemas de computación de vasta capacidad ha permitido realizar mediciones intra e intercontinentales con una precisión inconcebible en la era presatelital. Todas estas técnicas fueron integradas en la búsqueda y recopilacion de datos para la téctonica de placas.

4. LA TECTÓNICA GLOBAL

Como mencionamos en la introducción, la década de 1960 fue testigo de los primeros pasos de una nueva teoría que recibió el nombre de tectónica global o tectónica de placas. Esta teoría, que fue el resultado del trabajo de varios grupos de investigación de distintas universidades e institutos, sostiene que la litosfera —la capa externa más rígida de la Tierra de unos 150 kilómetros de espesor— está dividida en unas veinticinco placas gigantes, de tamaño y forma diversa[14], que están montadas sobre una zona plástica que se encuentra por debajo de ellas y que constituye la parte superior y débil del manto terrestre llamada astenosfera. Las placas se mueven independientemente: aquellas que forman el suelo oceánico crecen, a través de la inyección

13. El estudio de la luz como una función de la longitud de onda que ha sido emitida, reflejada o dispersada por un sólido, un líquido o un gas.

14. América, Eurasia, África, Pacífico, Indo-Australia y Antártida son las seis placas más importantes.

constante de lava, desde el eje constituido por las largas dorsales submarinas. La totalidad del suelo oceánico se recicla aproximadamente cada cien millones de años, moviéndose unos pocos centímetros por año, desde los ejes de expansión hacia las fosas o bordes de subducción, donde la litosfera oceánica se consume al ser introducida dentro del manto terrestre. Los continentes son, en realidad, «pasajeros» de las placas. Como el movimiento se hace sobre la superficie de una esfera, éste se puede definir por rotaciones en torno al polo de un eje que pasa por el centro de la Tierra. Las cadenas de montañas más importantes y las zonas de terremotos tienden a ocurrir en los bordes de las placas: las colisiones de éstos se sopesan hoy como el origen de los grandes plegamientos de las montañas. Se ha postulado que el mecanismo motor de las placas —uno de los puntos más conflictivos en la aceptación de la teoría movilista— son las corrientes de convección térmica dentro del manto terrestre: ascendentes en las dorsales oceánicas (zonas de extensión) y descendentes en las de colisión (zonas de subducción). Los descubrimientos relativos a la tectónica de placas influyeron en la interpretación de los rasgos superficiales de la Tierra dependientes de los procesos internos del planeta, como las cordilleras plegadas, las fosas oceánicas, las zonas de terremotos y los cinturones de actividad ígnea, volcánica e intrusiva. Por el contrario, las explicaciones de aquellos rasgos de la superficie que se originan por procesos externos (la acción del Sol, la atmósfera, los ríos, las corrientes oceánicas, las olas, etc.) no fueron afectadas.

Como recuerda Wilson (1976, 1), la idea de que los continentes se han movido se conocía desde hace más de un siglo; a pesar de ello, los geólogos seguían considerando a la Tierra como un cuerpo rígido. Entre 1910 y 1912, F. Taylor (1860-1938) y A. Wegener (1880-1930) propusieron distintas hipótesis acerca de la deriva continental que, luego de la gran guerra, generaron grandes controversias. Alfred Wegener publicó *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* en 1915, libro que, en vida del autor, alcanzó tres ediciones más (1920, 1922 y 1929). Asimismo, esta polémica obra fue traducida al francés, al inglés y al español en 1924 y al ruso en 1925. La traducción al español de 1924 fue hecha por el geofísico español Vicente Inglada Ors como *La génesis de los continentes y océanos,* publicada por la Biblioteca de la *Revista de Occidente*. Wegener, que había estudiado astronomía en Berlín, dedicó sus primeros trabajos a la meteorología, en particular al estudio de la atmósfera por medio de globos. Los estudios de astronomía y meteorología[15] lo sumergieron en un campo en el que la

15. La relación con esta última fue profesional y familiar, ya que se casó con la

recopilación sistemática de datos —a través de instituciones estatales coordinadas al efecto— y su análisis a escala global estaban instalados desde el siglo anterior. En efecto, el uso de globos para la recogida de datos, del telégrafo y de la radio para su transmisión precisa y simultánea de y a distintos centros, el diseño de mapas sinópticos generales, la necesidad de una red internacional de observaciones coordinadas, el uso de las matemáticas y de los estudios cuantitativos, eran las prácticas comunes de esta disciplina. Sin duda, ayudaron a acuñar la matriz en la que Wegener ordenó los datos geológicos, paleontológicos, geofísicos y paleoclimáticos necesarios para explicar la coincidencia de las costas de ambos lados del Atlántico.

La teoría de Wegener ha sido resumida por Oreskes (1988, 318) en los siguientes puntos:

1) Los continentes están compuestos de un material menos denso que las cuencas oceánicas.

2) El material que compone el suelo oceánico también se halla por debajo de los continentes. La diferencia de densidad entre ellos permite que los continentes «floten» en equilibrio hidrostático en el sustrato oceánico más denso.

3) Los continentes son capaces de moverse a través del sustrato, dado que éste, en la escala del tiempo geológico, se comporta como un fluido altamente viscoso.

4) Los rasgos más importantes de la Tierra —las cadenas montañosas, los valles del tipo rift, los arcos de islas oceánicas— y los fenómenos geológicos de mayor dimensión —terremotos y volcanes— son causados por estos movimientos horizontales y por la interacción de los continentes. Las montañas se forman por compresión en los bordes extremos que conducen los continentes a la deriva.

5) Originariamente, la totalidad de la Tierra estaba cubierta por una capa continental, delgada y continua que, gradualmente, se fue separando y engrosando a causa de la misma dinámica de las placas. Durante la era mesozoica, algunas de las piezas continentales estuvieron reunidas en un enorme supercontinente bautizado Pangea.

Su teoría se basaba en el descubrimiento del material radiactivo en la corteza terrestre, en la ausencia de sedimentos de mares profundos sobre las plataformas continentales (lo que indicaba que los continentes nunca habían sido cuencas oceánicas), y en el descubrimiento de la isostasia (por la cual los rasgos más importantes de la corteza terrestre tienden a mantenerse en equilibrio con respecto al

hija de Wladimir Köppen (1846-1940), meteorólogo del Deutsche Seewarte de Hamburgo.

interior más denso y fluido). Por este principio parecía imposible que un paleocontinente o un puente terrestre se hubiese hundido en el piso más denso del océano, idea que, por esos años, se sostenía principalmente en Europa. Wegener rechazaba, de igual manera, la teoría que postulaba la permanencia de las cuencas oceánicas, defendida en los Estados Unidos de América, y que sostenía que, desde que el agua formó los mares, las grandes cuencas marinas se instalaron en el mismo lugar que actualmente ocupan. Frente a estas dos teorías opuestas, se necesitaba encontrar una manera de plantear antiguas conexiones entre los continentes actuales, sin suponer la existencia de puentes entre ellos (Wegener 1996, 39-58), para explicar los siguientes enigmas: los paralelismos paleontológicos que sugerían un intenso intercambio de especies fósiles entre los continentes en determinados periodos de la historia geológica (*ibid.*, 153-183); las similitudes estratigráficas en lugares ampliamente separados (*ibid.*, 109-152); la posibilidad de encaje de los continentes (*ibid.*, 35); y los indicadores geológicos de un gran cambio paleoclimático a través de la historia de la Tierra, cambio que no se podía explicar simplemente por tendencias hacia el enfriamiento o calentamiento del planeta (*ibid.*, 185-215).

En los Estados Unidos de América, la gran mayoría de los geólogos, con la excepción de W. Van Waterschoot van der Gracht, se opusieron a estas ideas. Rupke (1996) ha discutido los factores eurocéntricos de la presentación de Wegener como para que esto ocurriera; es decir, la imagen de Europa como la masa continental de referencia para definir el desplazamiento de los otros continentes. Sin embargo, en la cuarta edición de la obra, Wegener se refiere a los desplazamientos de partes de la corteza terrestre relativos a otra escogida arbitrariamente, elección que recaía en África (Wegener 1996, 217). Por otro lado, las evidencias geológicas y paleontológicas a favor de la teoría movilista proceden, en gran parte, de los trabajos realizados a ambos lados del Atlántico sur gracias a las similitudes entre África y Brasil y Argentina. Otro elemento asociado a la obra de Wegener consiste en su amplia difusión en el mundo, mucho más allá del contexto anglosajón; a las traducciones ya citadas se suma que varios textos de geología, publicados en España y en Argentina, adoptaron las ideas de Wegener como una hipótesis interesante (Udías Vallina 1996, 10 y 22). Es cierto que los geólogos de Argentina, a diferencia de los de Estados Unidos, mantenían estrechas vinculaciones con Alemania gracias a un profesorado universitario y a cuerpos técnicos que procedían de este país, que no sólo se mantuvieron leales, sino que además concurrieron al frente europeo o participaron de la rehabilitación alemana de postguerra (cf. García y Podgorny 2000). En otro orden de

cosas y como se ha señalado repetidas veces (Wilson 1976; LeGrand 1988; Oreskes 1988; Glen 1982), varios geólogos en Europa (entre los que se cuentan A. Holmes, cf. Frankel 1978) y otros del hemisferio sur (A. L. du Toit en Sudáfrica) estuvieron de acuerdo con Wegener. La geofísica, por su parte, no parecía conceder la razón a las ideas de Wegener: Harold Jeffreys (1891-1989), geofísico de la Universidad de Cambridge, sostenía que la deriva continental era físicamente imposible reparando en lo inconcebible que resultaba el movimiento entre masas rocosas sólidas, cuya causa permanecía desconocida (LeGrand 1988; Oreskes 1988). A pesar de ello, y como suponía Wegener, el desarrollo y el uso de técnicas geofísicas resultó en el triunfo de las ideas movilistas, gracias a una teoría de naturaleza diferente: la tectónica de placas.

Los caminos retrospectivos hacia el éxito de la tectónica global coinciden en señalar, por un lado, un número de experimentos y de observaciones llevados a cabo en distintas universidades e institutos del hemisferio norte y de Australia (Glen 1982); por otro, los artículos y trabajos publicados que iban marcando los hitos e ideas que posibilitaron tal camino. Muchos concuerdan en destacar, como hito inicial, el nuevo cuerpo de datos que resultó de la geología de los suelos oceánicos en los años de la segunda guerra mundial. Recordemos que, durante la guerra, los estudios oceanográficos cobraron gran impulso en los Estados Unidos. El National Defense Research Committee incorporó a varios oceanógrafos para trabajar en multitud de proyectos ligados a la instalación de minas, al uso de los submarinos y a la guerra naval y anfibia (Oreskes 2000; Rainger 2000), entre los que se cuenta el estudio de los efectos de los sedimentos de los fondos marinos en el fenómeno de reverberación. Las relaciones de los oceanógrafos con la marina norteamericana continuaron en los años de postguerra, periodo que, a su vez, presenció el desarrollo de la oceanografía física (Rainger 2000). En relativamente pocos años, los oceanógrafos de todo el mundo cartografiaron los suelos oceánicos, descubriendo que su constitución geológica era relativamente sencilla y completamente diferente a la de los continentes. Los geofísicos, por su parte, apoyados por las nuevas estaciones sismológicas, investigaron el interior de la Tierra y averiguaron las maneras por las que las capas más superficiales llegan a romperse y constituyen placas móviles que transportan sobre ellas a los continentes. Las observaciones de los geólogos y las mediciones instrumentales indirectas de los geofísicos fueron conduciendo a la posibilidad de que alguna parte del interior del planeta debía ser movible para permitir los movimientos horizontales de la superficie.

Wilson (1976) destaca los trabajos de la década de 1950 de R. Fisher (1890-1962) y R. Revelle (1909-1991); de M. Kay (1904-1975), sobre el origen de los continentes, y los de K. Bullen (1906-1976) y D. Anderson (1933-), sobre el interior del planeta. Fisher y Revelle en 1955 presentaban las primeras exploraciones de las profundas fosas oceánicas que rodean al Pacífico, los terremotos y la actividad volcánica asociados a ellas y la anomalía gravimétrica negativa registrada en sus inmediaciones. Este trabajo determinaba que los movimientos que actuaban contra la fuerza de gravedad debían estar arrastrando la corteza debajo de las fosas y conduciendo los sedimentos al interior de la Tierra. Bullen mostraba que el interior de la Tierra podía dividirse en una serie de capas concéntricas, de las cuales la más externa es la corteza, separada del manto por la discontinuidad de Mohorovici. En 1956, un grupo de geofísicos demostró que las diferentes direcciones de magnetización de las rocas antiguas se podían reunir en un modelo estable, si se suponía que los continentes se habían movido respecto a los polos magnéticos. En ese mismo año, se sugirió que un sistema de cordilleras centro-oceánicas se extendía continuamente a lo largo de miles de kilómetros a través de todos los océanos del mundo. Al comprobarse esto, gracias a los datos oceanográficos, se estaba observando también que los sistemas montañosos más importantes de la Tierra se encontraban en el fondo del océano. Las antiguas teorías no habían previsto tales sistemas y, así, H. Hess (1906-1969), en 1960, propuso que los suelos oceánicos se expandían a lo largo de la línea de cumbres de la cordillera centro-oceánica y que el nuevo suelo que allí se formaba, se desplazaba a ambos lados de la misma. Wegener había mantenido que cada continente se movía independientemente; Hess proponía, en cambio, que los continentes se mueven juntamente con un suelo oceánico asociado, tan rígido como ellos. Wegener propuso que, al moverse los continentes, el nuevo suelo oceánico se formaba a lo largo de las costas que se separaban; en la década de 1950, en cambio, apareció la posibilidad de la generación del suelo oceánico (Wilson 1976, 42). Robert Dietz (1914-1995) denominó a este proceso «expansión del fondo oceánico», fenómeno paralelo a la absorción que ocurre en las zonas de subducción. Por estos mismos años, se describía un patrón de bandas magnéticas paralelas en el suelo oceánico de la costa oeste de América del Norte. F. J. Vine (1939-) y D. H. Matthews en Inglaterra (1931-) sugirieron, independientemente de L. Morley (1920-) de Canadá, que el campo geomagnético se invierte —es decir, el polo norte se convierte, magnéticamente, en polo sur y viceversa— a intervalos de unas pocas decenas de miles de años y que estas inversiones quedan grabadas en el suelo

sólido del océano con la forma de un secuencia alternada de bandas magnéticas. Durante un periodo la lava formada en la cumbre en expansión queda magnetizada uniformemente en una dirección. Estas bandas, de anchos proporcionales a los intervalos de la escala de inversión de la polaridad, se forman cuando la nueva lava que brota de la cordillera centro-oceánica forma otra franja con una nueva anomalía. Con las sucesivas inversiones se construye un modelo simétrico de franjas paralelas a la cresta de la cordillera y, conociendo su cronología, se puede calcular el valor de la expansión (cf. Morley 1986). En 1965, J. Tuzo Wilson postuló un tipo de fallas a las que llamó fallas de transformación, que completaba los elementos necesarios para poder aceptar que las placas se mueven horizontalmente unas con respecto a otras. Hacia los inicios de la década de 1970, la evidencia sismológica le daba sustento a esta interpretación, a la subducción en las fosas oceánicas y a la correlación de las zonas de actividad sísmica con los bordes de las placas corticales.

Glen (1982, viii) ha señalado el importante papel del trabajo de los estudiosos del paleomagnetismo durante las décadas de 1950 y 1960 para la aceptación de la tectónica de placas (cf. Frankel 1987; Irving 1988; Opdyke 1985). Asimismo, ha destacado que muchos de aquellos científicos —en especial los ingleses— que, casi individualmente, resucitaron el problema de la deriva continental, no estaban demasiado preocupados por la cuestión de la inversión repetida del campo magnético de la Tierra. Por el contrario, este asunto, que eliminaba la polaridad terrestre de la lista de constantes físicas, quedó en las manos de sus colegas radiometristas y paleomagnetisas australianos y estadounidenses. La escala temporal que se utilizó como calendario de estos cambios de la polaridad se transformó —serendípicamente— en el patrón de referencia a través del cual fueron interpretados los datos sobre las anomalías magnéticas de los suelos oceánicos, constituyendo, de esta manera, la prueba del desplazamiento de los mismos. Glen (1982) subraya que el programa de investigación en el cual se calculó la escala para las inversiones —y que provocó una herramienta científica cuya inmensa utilidad nadie podía anticipar— tenía un mínimo de personal y fue desarrollado sistemáticamente sólo en dos centros de investigación: uno en Menlo Park, California; el otro, en Australia. Recordemos que en la década de 1960 un grupo de científicos se había abocado a la recogida de muestras de rocas de todo el mundo y obtenido cuidadosamente de cada una su edad y polaridad magnética, de la cual habían resultado distintos intentos de establecer una escala temporal, es decir, un calendario de las inversiones de la polaridad a los largo de varios millones

de años de la historia de nuestro planeta. En esta escala se identificaban intervalos donde el campo magnético terrestre era normal (como el presente) y otros de polaridad invertida. En 1965, con el descubrimiento de la inversión de las rocas de Jaramillo, se sentaron las bases para la undécima versión de la escala que consistió en la prueba definitiva de la teoría movilista. Recordemos que este camino estuvo articulado por la aparición de los métodos para fechar rocas geológicamente modernas, a través de la medición radiométrica del potasio-argón. Estos métodos permitieron, por su parte, datar a las rocas determinadas magnéticamente, para formular la escala temporal de las inversiones del campo magnético terrestre. Esta escala permitió, por último, descifrar un enorme rompecabezas de datos magnéticos procedentes de las rocas y sedimentos de los suelos océanicos (Glen, 1982).

La escala internacional de los datos necesarios para la tectónica de placas va de la mano con la expansión de programas de investigación y de laboratorios montados al efecto. En el caso de los estudios sobre el paleomagnetismo, América del Sur aportó datos indispensables sobre la deriva continental desde los inicios de la década de 1960 gracias a los estudios del ingeniero Daniel Valencio (1928-1987). Destaquemos que, en 1964, Valencio instaló e impulsó el Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de las Rocas de la Universidad de Buenos Aires para luego dirigir la instalación de laboratorios similares en las Universidades de San Pablo, Brasil (1971) y Nacional Autónoma de México (1976) (Sinito y Vilas, 1987, 218). Este laboratorio, cuya actividad en parte estuvo y está integrada a los proyectos del Comité Argentino para el «International Geological Correlation Programme» (IGCP), se enfocó al estudio de la geodinámica de América del Sur en el Paleozoico y el Mesozoico, lapso dentro del cual se habría originado el Atlántico Sur[16]. En Venezuela, durante las décadas de 1950 y 1960, Émile Rod (1912-1989), un geólogo suizo al servicio de la industria petrolera venezolana, publicó una serie de artículos documentando la existencia de grandes fallas de rumbo norte en el norte de Venezuela, la evidencia de su sentido y magnitud de desplazamiento, su relación con la sismicidad y con el límite sur de un bloque cortical caribeño que se desplaza relativamente hacia el este, una idea originalmente planteada en 1938. Durante los diez años siguientes, estos artículos no sólo generaron una gran controversia entre los geólogos entrenados en la tectónica vertical en su búsqueda de

16. «Convenio de Creación del Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel Valencio (LPDV)», Manuscrito de la década de 1990, Laboratorio de Paleomagnetismo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

trampas petroleras, sino que también marcaron un nuevo campo de investigación relativo a las fallas de rumbo en los países de América del Sur (Schubert 1994, 190).

Oreskes (1988, 339-341) ha comparado la recepción y rechazo de las ideas de Wegener con la aceptación de la tectónica de placas, señalando que las evidencias usadas en los dos momentos del debate son de un orden completamente distinto. Mientras que en la década de 1920 las mismas se basaban en homologías, las de 1960 procedían de mediciones. En la década de 1960, el magnetismo remanente en tierra y mar, las soluciones basadas en computadoras para modelar el movimiento de las placas y la resolución sismológica de los mecanismos de los terremotos fueron los medios que posibilitaron «ver» la dinámica del planeta a lo largo de miles de millones de años. Ello señala un cambio fundamental entre la geología de los inicios del siglo XX y la que se desarrolló a partir de las guerras mundiales, cuando las técnicas y los instrumentos adaptados o prestados de la física (cf. Glen, 1982) empezaron a aplicarse en el estudio de la Tierra como hasta nunca antes. Muchos de los protagonistas de estos trabajos participaron, de igual manera, en los debates que llevaron y llevan a pensar a la Tierra como un planeta del sistema solar.

5. LOS METEORITOS Y LA TIERRA

En 1980, se publicaba en la revista *Science* un artículo encabezado por el premio Nobel de física de 1968, Luis W. Álvarez (1911-1988) y su hijo, el geólogo Walter (1940-). En estas catorce páginas se proponía que la delgada capa de iridio —material siderófilo sumamente extraño en la corteza terrestre pero abundante en los meteoritos— hallada en un corte estratigráfico del norte de Italia se debía al impacto de un cuerpo extraterrestre de gran tamaño. Dada la posición de esta capa, coincidente con el límite entre el Cretácico y el Terciario —el momento asociado a la extinción de los dinosaurios— los autores sostenían, además, que la colisión de este supuesto meteorito de diez kilómetros había provocado una reacción similar a una explosión nuclear de alcances enormes[17]. De ella habría resultado la extinción de los grandes reptiles y de otros taxones que «abruptamente»

17. Como el modelo correctamente asume, la energía liberada por dicho impacto es enorme. En el caso de la Luna, se ha estimado que para la cuenca de Imbrium, originada por un impacto, se precisó una energía de 3×10^{26} julios, lo que representa unas 10^7 veces la energía liberada por todos los terremotos que ocurren durante un año en la Tierra (Dalrymple 1991, 205).

desaparecieron en ese momento geológico. Este artículo desencadenó una serie de debates científicos que tuvieron, sobre todo en los Estados Unidos, gran repercusión pública (Raup 1984; Clemens 1994; Glen 1994; 1998). Los mismos se centraron en dos aspectos: por un lado, el problema de los impactos causados por cuerpos extraterrestres. Segundo, el impacto como causa de profundos cambios ambientales y, en el caso concreto de la hipótesis del grupo de Álvarez, como explicación de la extinción de los dinosaurios y de otros taxones en el límite entre el Cretácico y el Terciario. Esta idea asumía dos cosas: que las extinciones en masa existían (es decir, existía un proceso de magnitud diferente a la «normal») y, en segundo lugar, que semejante acontecimiento había sido instantáneo, algo que los paleontólogos no se muestran muy dispuestos a aceptar por contradecir la escala geológica de los cambios (Glen 1982, 43).

Aunque ésta es la primera vez que semejante controversia ingresa en los principales foros científicos, las hipótesis que explicaban las extinciones bióticas por acontecimientos extraterrestres tienen una larga historia. D'Hondt (1998) las ha clasificado en tres categorías según la causa invocada: la colisión de meteoritos o cometas, el pasaje de planetésimos y el incremento de radiación cósmica a raíz ya sea de la interacción del Sol con la materia interestelar, de supernovas o del pasaje periódico de la Tierra por el plano galáctico. Las mismas se habían extrapolado de observaciones astronómicas, sugiriendo que algunos objetos extraterrestres habían afectado a nuestro planeta en algunos momentos del pasado. Sin embargo, ninguna había propuesto maneras de comprobar la coincidencia temporal de las extinciones con los efectos terrestres de aquellos objetos, siendo la hipótesis del grupo de los Álvarez la primera en brindar evidencia directa de semejante episodio. En este sentido, esta hipótesis despertó otro programa de investigación internacional en busca de la detección de la capa de iridio en otros sitios del mundo y en la posición estratigráfica indicada (apareciendo en más de setenta y cinco sitios), y del cráter resultante del impacto (el candidato más fuerte parece ser el de Chicxulub, en Yucatán). Ligada a esta idea se ha postulado también la periodicidad de tales sucesos (Raup 1984) y la hipótesis alternativa que busca la causa de las extinciones masivas en el efecto invernadero causado por erupciones volcánicas generalizadas (Glen 1994; Jackson 1998). Por otro lado, y frente a la reacción de los paleontólogos de vertebrados, la llamada «teoría del impacto» fue recibida con mayor simpatía en los círculos de la geoquímica, la cosmoquímica, la geología planetaria y los estudios de impacto (cf. Farley *et al.* 1998). Sin embargo, la popularidad de la hipótesis de los Álvarez no debe enmascarar la histo-

ria de estos campos en los que, desde hace décadas, la Tierra ha sido estudiada como parte del sistema solar.

A principios del siglo XXI pocos geólogos dudan de la importancia de los impactos extraterrestres en los procesos que actuaron modelando el paisaje de la Tierra. Más aún, actualmente se estima que los cráteres causados por ellos constituyen uno de los rasgos más comunes en la superficie de los cuerpos que integran el sistema solar. Aunque en la Tierra se han hallado más de cien, fue sólo a partir de mediados de la década de 1950 cuando se reconoció el papel que las colisiones extraterrestres desempeñaron en la historia geológica de nuestro planeta, gracias a las técnicas de aerofotografía y a los inicios de la exploración espacial (Bourgeois y Koppes 1998; Lowman 1996). El estudio de fenómenos extraterrestres y la posibilidad de analizar las imágenes de la Tierra «desde fuera» crearon las bases para trabajar sobre lo «intocable» y lo imposible de observar en la escala de los fenómenos microscópicos. En otro orden de cosas, este campo muestra cómo las observaciones realizadas en la Tierra y en los otros cuerpos planetarios crean las analogías que se reflejan infinitamente para interpretar rasgos, orígenes e historias.

En efecto, la discusión sobre el origen del paisaje lunar y del sistema solar actuó en relación especular con los debates sobre la historia de nuestro planeta. El origen de los cráteres, estructuras mucho más visibles en la Luna que en la Tierra, se discutió por años, oscilando las opiniones entre un origen volcánico y la colisión de cuerpos de meteoritos. La ausencia de estructuras de impacto en la Tierra era uno de los argumentos principales en contra de esta última interpretación (Schultz, 1998, 107). La gran guerra suministró a muchos geólogos la experiencia de los efectos causados por grandes explosiones y la posibilidad de realizar fotografías aéreas. A través se ellas se reconocieron los rasgos básicos de un impacto, obtenidos en experimentos de laboratorio, y se empezó a abogar que los cráteres lunares podían haberse originado a través de impactos explosivos (*ibid.*). Entre 1918 y 1919 Wegener desarrolló una serie de simulaciones experimentales sobre el proceso por el cual se habrían formado los cráteres lunares. Asimismo, calibró estos experimentos a través de la morfología de «sus» cráteres y los índices numéricos de los verdaderos cráteres lunares publicados por el físico H. Ebert (1861-1913) (Greene, 1998, 111). Por su lado, D. M. Barringer (1860-1929), en contra de la opinión de la totalidad del Servicio de Prospección Geológica de los Estados Unidos, postuló, a partir de 1905 y por más de treinta años, que el cráter Meteoro de Arizona no tenía un origen volcánico sino que se debía a un impacto. En la década de 1920 se propuso que otro

cráter de Texas se había originado por la «explosión» de un meteorito, abriendo las compuertas para una serie de «descubrimientos» análogos y estableciendo las bases geológicas terrestres para aceptar un origen similar para las estructuras de la Luna. La década de los años treinta vio surgir los debates sobre los criterios diagnósticos para interpretar y reconocer una estructura de impacto (Schultz 1998). En esos mismos años se detectaron otros cráteres con meteoritos de hierro asociados a ellos en el desierto de Wabar (Arabia) y en Henbury (Australia). L. J. Spencer (1870-1959), del Museo Británico, examinó los meteoritos y los fragmentos de vidrio de estos cráteres, detectando que los fragmentos de vidrio negro de los cráteres de Wabar procedían de la fundición del sílice de la arena del desierto provocada por el calor del impacto. Para Spencer, el hallazgo de Wabar suministraba una prueba definitiva del proceso de la formación cráteres a través del impacto de un meteorito (Marvin, 1994, 164-165). En aquel momento, Spencer definía a los cráteres de impacto como rasgos formados por explosiones de alta energía, causantes tanto de la vaporización parcial del proyectil y de la roca impactada como de la dispersión de fragmentos del meteorito por afuera del cráter (Marvin, *ibid.*, 165).

Como recuerda Marvin (*ibid.*, 165), la evidencia más persuasiva de un impacto provino del trabajo de Leonid Kulik (1883-1942) de 1928, que descubrió el lugar de la explosión de una enorme bola de fuego observada en 1908 en la región del río Tunguska, en Siberia. Kulik no detectó meteorito alguno pero dio con un bosque aplastado y chamuscado, con la punta de los árboles apuntando radialmente hacia fuera desde el lugar de la explosión. En 1933 Spencer publicó *Meteorite Craters as Topographic Features on the Earth*, donde listaba todos los hallazgos aceptados hasta ese momento e incluía los hoyos de Campo del Cielo, en el Chaco argentino, como los restos del impacto de un meteorito[18] (Marvin, *ibid.*, 167). Sobre el fin de la década de 1930, J. D. Boon (1874-1952) y C. Albritton reinterpretaron como estructuras de impacto aquellas que se habían apreciado hasta entonces como «criptovolcánicas» (Schultz, 1998). La Luna, podría decirse, hizo visibles estructuras escondidas por los procesos que actuaron modelando el paisaje terrestre durante millones de años. La aceptación de la existencia de cráteres meteoríticos en la Tierra permitió, de igual manera, explicar el origen de los cráteres lunares pero también dio lugar a programas de investigación para la detección de estructu-

18. El descubrimiento del meteorito de Campo del Cielo tiene una historia registrada de más de cuatro siglos.

ras hasta entonces no detectadas o interpretadas de manera diametralmente diferente. Así, el hallazgo en la década de 1960 de coesita natural, un polimorfo de alta presión del SiO_2, en el cráter de Ries Kessel, en Alemania, hizo que esta estructura, hasta entonces descrita como un volcán, pasara a ser considerada el cráter resultante de una colisión. Un nuevo proceso, el metamorfismo de choque, apareció en los procesos considerados en la formación de los materiales terrestres y que se caracterizaría por presiones y temperaturas extremadamente altas en periodos muy cortos de tiempo (Lowman 1996, 497). Desde entonces, y como en el caso de la tectónica global, diversos equipos de investigación se han dedicado a la detección de estructuras resultantes del impacto de meteoritos o de asteroides. En 1962 y 1963 un equipo binacional integrado por argentinos y estadounidenses llevó adelante un trabajo de campo exhaustivo en la región de Campo del Cielo, entre las provincias de Santiago del Estero y Chaco (Argentina). Este equipo relevó y mapeó la distribución de los especímenes y de los cráteres, mostrando el patrón de expansión del campo de meteoritos que alcanzaba 75 kilómetros de longitud (Marvin 1994, 165-166).

Estas nuevas ideas modificaron las hipótesis sostenidas a lo largo de las primeras décadas del siglo XX para explicar la presencia de «escorias o tierras cocidas» que, como materiales vítreos, vesiculares y de colores muy brillantes, aparecen en los depósitos sedimentarios aflorantes en el litoral atlántico del sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Zárate y Schultz 2002, 42). Mientras que en los inicios del siglo pasado, F. Ameghino (1854?-1911) consideró que se trataba de restos de origen antrópico (tierras quemadas como resultado de los fogones humanos prehistóricos), el debate que resultó de esta posibilidad llevó a otras interpretaciones enfrentadas que buscaban su origen en la actividad volcánica o en la magmática. Sin embargo, ninguna de ellas satisfacía las condiciones dadas por el carácter no volcánico de la región pampeana o por las altas temperaturas requeridas para fundir el loess pampeano (*ibid.*). A fines de la década de 1990, un piloto de la fuerza aérea argentina fotografió una serie de depresiones en la zona de Río Cuarto (Córdoba) que, aunque hasta ese momento se habían considerado cuencas de deflación eólica, resultaron ser un conjunto de cráteres de impactos oblicuos, de muy bajo ángulo, de un cuerpo de 150 a 300 metros de diámetro. En ellos aparecieron fragmentos asombrosamente parecidos a las polémicas escorias, con las características típicas de las impactitas. La fecha de la colisión habría sido hace unos 3.300.000 años y habría tenido como consecuencia un profundo cambio ambiental. Como recuerdan Zárate y Schultz (*ibid.*,

51), la distribución de los cráteres de impacto en la superficie de la Tierra muestra diferencias significativas, si se comparan los distintos continentes. El mayor número se ha encontrado en América del Norte, Escandinavia y Australia, mientras que América del Sur y África aparecen poco mencionadas en la geografía de los impactos. Esta diferencia no se debe a que haya regiones más o menos propensas que otras a atraer colisiones de cuerpos extraterrestres, sino al número de investigaciones llevadas a cabo en cada una de ellas. La densidad de población y la geología de cada región ayudan a determinar la conservación de las estructuras, que estuvieron sometidas a la acción erosiva a lo largo del tiempo. Estas primeras observaciones abren enormes expectativas sobre la potencialidad de la Pampa como una región archivo de episodios de impacto.

El exotismo del paisaje lunar y de sus cráteres reina en otros planetas y, también, en la Tierra, donde es poco visible a raíz de los procesos que esconden estas estructuras, tales como la erosión, la sedimentación y la destrucción del suelo oceánico. Subrayemos que los asteroides con órbitas que atraviesan las de los planetas del sistema solar habían sido prospectadas por E. Shoemaker (1928-1997) y colaboradores desde fines de la década de 1970. Tanto Marte como Mercurio muestran huellas del mismo tipo de bombardeo galáctico que la Luna y en 1994, desde la Tierra, se pudo observar la impresionante serie de impactos de fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 sobre Júpiter. Su amplio seguimiento mediático en los Estados Unidos desencadenó un interés mayor en el peligro que representan las colisiones de este tipo para la vida en la Tierra. Aunque la atmósfera terrestre restringe el tamaño y la velocidad de los objetos que, desde el espacio, llegan a la superficie de la Tierra, no habría barreras para aquellos asteroides que cruzan nuestra órbita con dimensiones que van entre uno a nueve kilómetros de diámetro. Sin embargo, dado el número de cráteres hallados en nuestro planeta, puede decirse que el impacto de un cuerpo de dimensiones semejantes con la Tierra ocurre con una frecuencia muy baja. Según los cálculos de E. Shoemaker, aproximadamente cada millón de años, tres asteroides de más un kilómetro impactan en la Tierra, mientras que cuerpos de varios kilómetros sólo lo hacen aproximadamente una vez cada cuarenta millones de años. Los asteroides de medio kilómetro (capaces de producir un cráter de diez kilómetros de diámetro), tendrían una frecuencia estimada de cien mil años (cf. Dalrymple 1991, 278).

Los meteoritos se han convertido, además de en un potencial peligro y de una valiosa mercancía en el mercado de los objetos coleccionables, en una excelente fuente para el estudio de la historia del

Sol y los planetas. Aunque por muchos años se creyó que los diferentes tipos de meteoritos (cf. Dalrymple, *ibid.*, cuadro 6.1, 265) eran los restos de un antiguo planeta, su mineralogía, química y textura indican que proceden de por los menos setenta cuerpos diferentes, particularmente de los asteroides del sistema solar y algunos otros de Marte (*ibid.*, 275-276 y 283-284). Los estudios espectrofotométricos de los asteroides señalan una composición mineralógica similar a la de los meteoritos y se cree que los efectos gravitacionales de Júpiter tienen un papel central en hacer que los mismos ingresen en una órbita que atraviesa la de nuestro planeta. La mayoría de los meteoritos son antiguos y las fechas suministradas por los distintos métodos de datación indican que se formaron hace unos 4.500 millones de años.

Las rocas de la Luna traídas por las misiones espaciales de los programa Apolo y Luna fueron las primeras muestras extraterrestres estudiadas en un laboratorio, jugando un importante papel en la determinación de la edad de nuestro planeta. Las nueve misiones que tuvieron lugar entre 1969 y 1976 regresaron con un total de 382 kilogramos de rocas lunares que demostraron que, contrariamente a las ideas anteriores a las misiones Apolo, todos los tipos de rocas selenitas podían encontrar, aunque en diferente proporción, su análogo en la Tierra (*ibid.*, 213). Aunque no se sabe exactamente cuál es el origen de la Luna ni cuál es su relación genética con la Tierra, todas las hipótesis refuerzan la idea de que ella, su satélite y el sistema solar se han formado aproximadamente «al mismo tiempo», que tienen un origen común y que sus partes deben relacionarse por su composición (*ibid.*, 194-199 y 214). En la Luna, donde faltan la atmósfera, el agua y los organismos vivientes y la alteración química está prácticamente ausente, los procesos de formación del suelo son enteramente mecánicos (transporte gravitacional, expansión y contracción causadas por calentamiento y enfriamiento, impacto de meteoritos, rayos cósmicos y de los iones del viento solar).

La escala temporal geológica de la historia de la Luna se asemeja a la de nuestro planeta aunque carece del detalle de que en la Tierra ha resultado de más de dos siglos de trabajo de campo, de levantamiento geológico y de análisis de las rocas en el laboratorio. Los mapas geológicos de la Luna empezaron a realizarse en la década de 1960 a través de fotografías telescópicas y orbitales, y de las muestras procedentes de los nueve lugares donde alunizaron las misiones norteamericanas y soviéticas. Destaquemos que Harrison Schmidt, durante la Apolo 17 en 1972, ha sido el único geólogo que prospectó en la Luna (*ibid.*, 210 y 218). Dalrymple (1991, 218-219) destaca que, a pesar de que casi todas las observaciones fueron realizadas a distan-

cia, a través de un telescopio y de una cámara[19], las relaciones temporales entre las unidades rocosas de la Luna siguieron los mismos principios de la geología terrestre; es decir, las leyes de superposición y de relaciones cruzadas que permiten determinar el orden de emplazamiento de las formaciones rocosas en una localidad dada. La datación de varias de las muestras lunares se realizó por dos o tres métodos o por dos o más laboratorios usando el mismo método, dando como resultado una edad estimada de 4.500 millones de años.

Como mencionamos antes, la edad de la Tierra ha quedado determinada en una cifra que ronda los cuatro billones y medio de años, consistente con la edad de los meteoritos y con las más antiguas de las muestras lunares. Sin embargo, la misma no procede de la datación directa de las rocas lunares o de los meteoritos sino de un modelo que describe la evolución de los isótopos del plomo en un sistema aislado, un modelo que puede aplicarse exitosamente al conjunto comprendido por los meteoritos, la Tierra y el sistema solar. Las bases para este modelo fueron formuladas por E. K. Gerling, del Instituto de Radio de la Academia de Ciencias de la URSS en 1942, por A. Holmes, de la Universidad de Edimburgo en 1946, y por F. Houtermans (1902-), de la Universidad de Gotinga en 1946. Aunque ninguno de los tres pudo brindar una cifra que sirviera para formular la edad del planeta, su enfoque, hoy conocido como el modelo Holmes-Houtermans, fue la base para la obtención de la misma (*ibid.*, 305). El modelo de una única etapa que representa la evolución de los isótopos del plomo en la Tierra utilizó datos de unas pocos y antiguos minerales de plomo y de un meteorito de hierro (Cañón del Diablo). Así, la «edad de la Tierra» representa en realidad la edad del sistema Tierra-meteoritos y probablemente represente la última época en la que la composición isotópica del plomo fue uniforme en todo el sistema, es decir, el tiempo en el que se formaron los primeros cuerpos sólidos a partir de la nébula solar (*ibid.*, 355).

José María Sánchez Ron (2000, 226-233), al analizar la tectónica de placas, considera que en el siglo pasado se ha acuñado «una visión dinámica de la Tierra». El siglo XXI no sólo se inaugura con el convencimiento y las posibilidades técnicas para concebir y describir al planeta como un todo sino que, además, presagia que el conocimiento de la historia de nuestro planeta ya no se desligue de su relación con el resto del sistema solar.

19. La primera columna estratigráfica para la Luna fue propuesta en 1962 por E. Shoemaker y R. Hackman, del U.S. Geological Survey.

BIBLIOGRAFÍA

AA.VV. (1976), *Deriva Continental y tectónica de placas*. Selecciones de *Scientific American*, con introducciones de J. Tuzo Wilson. Traducción de C. M. Escorza y A. González Ubanell, Blume, Madrid.

Albritton, C. C. (ed.) (1970), *Filosofía de la Geología*, Compañía Editorial Continental, México.

Albritton, C. C. (ed.) (1986), *The Abyss of Time. Changing Conceptions of the Earth's Antiquity after the Sixteenth Century*, Jeremy Tarcher, Los Angeles.

Allwardt, A. O. (1988), «Working at Cross-Purposes. Holmes and Vening Meinesz on Convection»: *EOS* 69 (41), 809-906.

Bourgeois, J. y Koppes, S. (1998), «Robert S. Dietz and the Recognition of Impact Structures on Earth»: *EHS* 17 (2), 139-156.

Bradley, W. H. (1970), «Leyes Geológicas», en C. C. Albritton (ed.), *Filosofía de la Geología,* Jeremy Tarcher, Los Angeles, 25-38.

Bravo, M. (1998), «Humboldtian Science», en G. Good, *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London, 430-433.

Brooks, J. E. (1989), «Tribute»: *EHS* 8 (2), 101-102.

Brush, S. (1978), «A geologist among astronomers: the rise and fall of the Chamberlin-Moulton Cosmogony, part I y II»: *Journal for the History of Astronomy* 9, 1-41 y 77-104.

Brush, S. (1979), «Nineteenth Century debates about the inside of the Earth: Solid, Liquid or Gas?»: *Annals of Science* 36, 225-254.

Bubnoff, S. von (1948), «Der Rhythmus der Erde»: *Universitas* 3 (8), 961-967.

Burchfield, J. D. (1975), *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, Science History Publications, New York.

Carey, S. W. (1976), *The Expanding Earth,* «Developments in Geotectonics», vol. 10, Elsevier, Amsterdam.

Clark, R. N. (1999), «Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy», en A. N. Rencz, *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*, 3, Wiley & Sons, New York, 3-58.

Clemens, E. (1994), «The Impact Hypotheses and Popular Science: Conditions and Consequences of Interdisciplinary Debate», en W. Glen, *The Mass-Extinction Debates: How Science works in a Crisis*, Stanford University Press, Stanford, 92-120.

Dalrymple, G. B. (1991), *The Age of the Earth*, Stanford University Press, Stanford.

Dettelbach, M. (1996), «Humboldtian Science», en N. Jardine, J. Secord y E. Spary (eds.), *Cultures of Natural History*, Cambridge University Press, Cambridge, 287-304.

DeVorkin, D. (1998), «Scientific Rocketry to *Sputnik*», en G. Good (1998*a*), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London, 726-731.

D'Hont, S. (1998), «Theories of Terrestrial Mass Extinction by Extraterrestrial Objects»: *EHS* 17 (2), 157-173.

Edney, M. (1998), «Cartography: Disciplinary History», en G. Good (1998*a*), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London, 81-85.
Farley, K. A. *et al.* (1998), «Geochemical Evidence for a Comet Shower in the Late Eocene»: *Science* 280, 1250-1253.
Figueirôa, S. y Lopes M. M. (1994), *Geological Sciences in Latin America. Scientific Relations and Exchanges*, UNICAMP, Campinas.
Frankel, H. (1978), «Arthur Holmes and Continental Drift»: *British Journal for the History of Science* 11, 130-150.
Frankel, H. (1987), «Jan Hospers and the Rise of Paleomagnetism»: *EOS* 68, 577, 579-581.
García, S. y Podgorny, I. (2000), «El sabio tiene una patria. La primera guerra mundial y la comunidad científica en la Argentina»: *Ciencia Hoy* 10 (55), 32-41.
Glen, W. (1982), *The Road to Jaramillo. Critical Years of the Revolution in Earth Science*, Stanford University Press, Stanford.
Glen, W. (ed.) (1994), *The Mass-Extinction Debates: How Science works in a Crisis*, Stanford University Press, Stanford.
Glen, W. (1998), «A manifold current upheaval in Science»: *EHS* 17 (2), 190-209.
Good, G. (ed.) (1998*a*), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London.
Good, G. (ed.) (1998*b*), «Editorial. Ever since Copernicus»: *EHS* 17 (2), 77-78.
Gould, S. J., (1987), *Time's Arrow, Time's Cycle. Myth and Metaphor in the Discovery of Geologic Time*, Harvard University Press, Cambridge.
Greene, M. T. (1998), «Alfred Wegener and the Origin of Lunar Craters»: *EHS* 17 (2), 111-138.
Guntau, M. (1989), «Concepts of Natural Law and Time in the History of Geology»: *EHS* 8 (2), 106-110.
Hagner, A. F. (1970), «Aspectos filosóficos de las Ciencias Geológicas», en C. C. Albritton (ed.), *Filosofía de la Geología*, Compañía Editorial Continental, México, 295-305.
Höhler, S. (2002), «Depth Records and Ocean Volumes: Ocean Profiling by Sounding Technology, 1850-1930»: *History and Technology* 18 (2), 119-154.
Holmes, A. y Holmes, D. (1980), *Geología Física*, Omega, Barcelona. Traducción (de la tercera edición de *Principles of Physical Geology*) de M. Domingo de Miró.
Hoykaas, R. (1959), *Natural Law and Divine Miracle. A Historical-Critical Study of the Principle of Uniformity in Geology, Biology and Theology*, Brill, Leiden.
Irving, E. (1988), «The Paleomagnetic confirmation of Continental Drift»: *EOS* 69, 906-907, 994, 999, 1001-1002, 1005-1006, 1008-1009, 1011, 1013-1014.
Jackson, C. (1998), «Mass Extinction and the Impact-Volcanic Controversy», en G. Good (1998*a*), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of*

Events, People, and Phenomena, 2 vols., Garland, New York-London, 516-518.
Keuren, D. van (2000), «Building a new foundation for the Ocean Sciences: The National Science Foundation and Oceanography, 1951-1965»: *EHS* 19 (1), 90-109.
Kruse, F. A. (1999), «Visible-Infrared Sensors and Case Studies», en A. N. Rencz, *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*, 3, Wiley & Son, 567-611.
Kuiper, G. P. (1954), *The Earth as a Planet*, University of Chicago Press, Chicago ([5]1969).
LeGrand, H. E. (1988), *Drifting continents and shifting theories. The modern revolution in geology and scientific change*, Cambridge University Press, Cambridge.
Lowman Jr., P. D. (1996), «Twelve Key 20th Century Discoveries in the Geosciences»: *Journal of Geoscience Education* 44, 485-502.
MacLeod, R. (1995), «'*Kriegsgeologen* and practical men': military geology and modern memory, 1914-18»: *British Journal of the History of Science* 28, 427-450.
Marvin, U. B. (1994), «The Meteorite of Campo del Cielo, Argentina: its History in Politics, Diplomacy, and Science», en S. Figueirôa y M. M. Lopes, *Geological Sciences in Latin America. Scientific Relations and Exchanges*, UNICAMP, Campinas, 155-174.
Millbroke, A. (1998), «International Geophysical Year», en G. Good (ed.), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London, 477-480.
Morley, L. (1986), «Early work Leading to the Explanation of the Banded Geomagnetic Imprinting of the Ocean Floor»: *EOS* 67, 665-666.
Morrell, J. y Thackray, A. (1981), *Gentlemen of Science. Early Years of the British Association for the Advancement of Science*, Clarendon Press, Oxford.
Numbers, R. (1992), *The Creationists. The Evolution of Scientific Creationism*, University of California Press, Berkeley.
Opdyke, N. (1985), «Reversals of the Earth's Magnetic Field and the Acceptance of Crustal Mobility in North America: A View from the Trenches»: *EOS* 66, 1177, 1181-1182.
Oreskes, N. (1988), «The rejection of continental drift»: *Historical Studies in the Physical Sciences* 18 (2), 311-348.
Oreskes, N. (2000), «Introduction. The Maury II Conference: Oceanography Section. Getting Oceanography done»: *EHS* 19 (1), 36-43.
Pelayo, F. (1999), *Ciencia y creencia en España durante el siglo XIX. La Paleontología en el debate sobre el darwinismo*, «Cuadernos Galileo de Historia de la Ciencia», 20, CSIC, Madrid.
Podgorny, I. y Schäffner W. (2000), «'La intención de observar abre los ojos'. Narraciones, datos y medios técnicos en las empresas humboldtianas del siglo XIX»: *Prismas*, *Revista de Historia Intelectual* 4, 217-227.
Rainger, R. (2000), «Patronage and Science: Roger Revelle, the US Navy, and Oceanography and the Scripps Institution»: *EHS* 19 (1), 58-89.

Raup, D. (1984), *The Nemesis Affair. A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science*, Norton & Company, New York.
Rudwick, M. J. S. (1976), «The Emergence of a Visual Language for Geological Science 1760-1840»: *History of Science* 14, 149-195.
Rudwick, M. J. S. (1997), *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes. New translations and interpretations of the primary texts*, Chicago University Press, Chicago.
Rupke, N. (1983), *The Great-Chain of History: William Buckland and the English School of Geology (1814-1849)*, Oxford University Press, Oxford.
Rupke, N. (1996), «Eurocentric Ideology of Continental Drift»: *History of Science* 34, 251-272.
Sabine, C. (1999), «Remote sensing Strategies for Mineral Exploration», en A. N. Rencz, *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*, 3, Wiley & Sons, 375- 447.
Sánchez Ron, J. M. (2000), *El Siglo de la Ciencia*, Taurus, Madrid.
Schneer, C. J. (1989), «Geology, Time and History»: *ESH* 8 (2), 103-105.
Schubert, C. (1994), «Emile Rod, strike-slip faults, and the plate-tectonic paradigm in Venezuela», en S. Figueirôa y M. M. Lopes, *Geological Sciences in Latin America. Scientific Relations and Exchanges*, UNICAMP, Campinas, 189-198.
Schultz, P. (1998), «Shooting the Moon: Understanding the History of Lunar Impact Theories»: *EHS* 17 (2), 92-110.
Sellés Martínez, J. (2001), «La Tierra como un todo»: *Geotemas* 14, 10-14.
Sellés Martínez, J. (2002), «La enseñanza de las ciencias de la Tierra desde una perspectiva histórica y metodológica», en *Actas del XII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, Girona, 76-80.
Simpson, G. G. (1970), «La Ciencia Histórica», en C. C. Albritton (ed.), *Filosofía de la Geología,* Compañía Editorial Continental, México, 39-69.
Singer, H. (1900), «Welche Erdgebiete sind am Schlusse des 19. Jahrhunderts noch unbekannt?»: *Globus, Illustrierte Zeitschrift für Länder– und Völkerkunde*, 47 (20), 313-320.
Sinito, A. M. y Vilas, J. F. (1987), «Nota necrológica. Daniel Alberto Valencio (1928-1987)»: *Asociación Geológica Argentina* XLII (1-2), 218-223.
Spanagel, D. (1998), «Actualism, Uniformitarianism, and Catastrophism», en G. Good (1998*a*), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London, 3-7.
Thomas, R. D. (1998), «Age of the Earth, since 1800», en G. Good (1998*a*), *Sciences of the Earth. An Encyclopedia of Events, People, and Phenomena*, 2 vols., Garland, New York-London, 13-19.
Udías Vallina, A. (1996), «Prólogo», en A. Wegener, *El origen de los continentes y océanos,* Círculo de Lectores, Madrid, 9-30.
Wegener, A. (1996), *El origen de los continentes y océanos*, Círculo de Lectores, Madrid. Traducción de F. Anguita Virella y J. C. Herguera García.
Wilson, J. T. (1961), *I.G.Y. The Year of the New Moons*, Alfred Knopf, New York.

Wilson, J. T. (1976), «Prefacio», «Introducciones» y «Conclusión», en AA.VV. (1976), *Deriva continental y tectónica de placas*, Selecciones de *Scientific American*, Blume, Madrid, 1-3, 42-44, 112-113 y 257-259.

Zárate, M. y Schultz P. (2002), «Las escorias y tierras cocidas de la Pampa»: *Investigación y Ciencia* (enero), 42-52.

RETOS DE LA ECOLOGÍA. GRANDES LÍNEAS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CUBIERTA VIVA DEL PLANETA

Ramón Margalef

Se habla y escribe mucho de la ecología y es posible que realmente merezca la pena comentar una y otra vez sus contenidos, amalgama de impresiones naturalísticas y de pretensiones de ciencia rigurosa. Al fin y al cabo concierne a la dinámica que la vida ha impuesto a la superficie, no sólo de la material de nuestro planeta de la que somos utilizadores, verdugos y, en parte, cuidadores responsables.

La ecología pretende tener como objeto el estudio de las interacciones entre entidades físicas y orgánicas, de las que la parte más activa y ciertamente la más interesante —hasta el punto de que, siguiendo la llamada hominización, llega a estar *personalmente interesada en ello— corresponde a la porción viva, aquella que es capaz de acumular información de una manera organizada y llega a hacerse racional, a cuyo nivel, con múltiples matizaciones, debe y llega a estar personalmente* interesada en el juego.

La ecología ha de estudiar el marco dentro del cual ocurre la estructuración de los llamados ecosistemas, o sistemas compuestos, regidos o influidos por organismos vivos, pertenecientes a diversas especies biológicas que son, a su vez, resultado de una evolución pasada, acaecida en marcos (también ecológicos) equivalentes y, a su turno, son soporte y promesa, diversamente condicionadas, de una evolución futura. La evolución orgánica es como una onda prácticamente imparable en su avance, que acrece información, la materializa y ensaya y, cuando resulta efectiva y aceptable, la proyecta hacia el futuro. Pero la eventual aceptación de dicha información y su utilización activa dependen del estado presente de un conjunto mucho más amplio, que también incluye los componentes dotados de vida y aun de pretensiones intelectuales, a cuyo conjunto llamamos biosfera.

La historia de la cubierta viva del planeta ha transcurrido y prosigue dentro del marco físico constituido por la superficie sólida de la Tierra, inmersa en, o bañada por, los elementos fluidos —agua y aire—. Tanto estas cubiertas fluidas como el substrato sólido de la Tierra se caracterizan por sus dinámicas propias que ayudan a configurar también, a su vez, el escenario de la evolución, de modo que influyen en la generación de la historia real. Las características físicas locales en cada momento operan una primera selección, entre las estirpes de organismos existentes que pueden acceder al espacio en cuestión, o compiten por su acceso, pues el sistema permanece abierto a nuevas introducciones y extinciones. La ulterior supervivencia de la entidad global o ecosistema, así establecido, sigue dependiendo de la dinámica física local, pues la capacidad de la vida, con ser tenaz y hasta poderosa, no deja de estar supeditada a factores más energéticos y de poderes operativos más amplios.

Los seres vivos son entidades históricas generalmente integradas por unidades o individuos que nacen, se reproducen y mueren. Un gran número de especies de procariotas, de plantas y de animales, contando las que han existido y las que existen actualmente, se han ido diferenciando o constituyendo, en el curso de una larga historia, bajo la acción de la selección natural sobre una variabilidad genética aparentemente incesante y aun imparable. Porque el meollo de sus correspondientes entidades estaba o está registrado en los sistemas genéticos respectivos, a cuyo nivel acaece la evolución, por asimilación y selección de una parte de novedades genéticas que se van generando, aparentemente un poco al azar, pero que sólo se manifiestan y persisten si las condiciones del entorno resultan apropiadas y lo permiten. La adaptación y la supervivencia, por tanto, resultan de la compatibilidad dinámica de ambos sistemas, del entorno físico y de los organismos vivos.

El catálogo de los que han sobrevivido incluye una gran variedad de organismos, desde los unicelulares de organización más simplificada que puede expresar la vida, hasta una extraordinaria y heterogénea riqueza de seres pluricelulares de gran complejidad y presuntas capacidades, que incluye, en nuestra autocomplacencia, la de atreverse a escribir libros que tratan de biología —pretendiendo mirarse y aun verse a sí mismos desapasionadamente— y de ecología —tratar de interpretar los diferentes aspectos que puede tomar un mundo que nos rodea a todos y a cada uno de nosotros, en cuya organización y funcionamiento indiscutiblemente participamos.

Los seres vivos tienen el carácter de entidades complejas y reproducibles, y conservan la capacidad de variar detalles de su organiza-

ción, en menor o mayor escala, como se manifiesta, en grado menor, comparando individuos de una misma especie emparentados entre sí. Las diferencias se generan, conservan y aun aumentan con el paso de las generaciones sucesivas, cuando sus individuos sobrevivieron bajo distintas condiciones de entorno que propiciaran divergencias en la selección natural. La capacidad de apareamiento o, en general, de reproducción compartida, se acepta como indicio de parentesco. Es criterio que puede aplicarse para evaluar la relativa afinidad entre posibles estirpes o sus variantes.

La evolución de las especies presupone la variabilidad genética o hereditaria de las mismas y es el resultado de la selección natural que opera en el seno de los sistemas naturales o ecosistemas, orgánicos y dinámicos. Son entidades funcionales supraespecíficas constituidas por individuos de algunas de las múltiples especies que pueden acceder y sobrevivir en aquel entorno, en cuyo seno interactúan unas con otras de diversas maneras. Una relación muy llamativa, común y efectiva, por ejemplo, es la de depredador y presa.

Llamamos ecosistemas a los conjuntos de distintas especies que viven juntas en un entorno físico determinado, al que están adaptadas o preadaptadas y cuyos individuos de diferentes especies interactúan de manera directa o indirecta, con efectividades diversas, complementando sus actividades o sus funciones. Así se constituyen los ecosistemas que, por lo menos temporalmente, consiguen y mantienen cierto grado de constancia o estabilidad dinámica. La relación típica y que ha atraído mucha atención es la que se establece entre depredador y presa. Ordinariamente las especies que entran en semejantes relaciones pueden aparecer asociadas en cadena o en forma de red, constituyendo lo que suele llamarse cadenas o redes tróficas, al servir de vehículo a flujos alimentarios, por ejemplo, los que circulan de plantas a animales vegetarianos y de éstos a sus depredadores.

Las relaciones ternarias, si llegan a establecerse, son inestables por las mismas relaciones de retroalimentación (*feed-back*) que se manifiestan en los *ménages à trois*, y conducen a una simplificación relativa, con tendencia hacia la linearización en los sistemas de relaciones tróficas o alimentarias, que constituyen las llamadas cadenas o redes tróficas, con las que se pretende describir o representar los flujos materiales y energéticos entre especies. Junto con otros factores, semejantes restricciones generadas por la expresada dinámica contribuyen en grado notable a estabilizar los ecosistemas, facilitando además un desarrollo que nos parece armónico, o que, por lo menos, tiene características que se manifiestan de manera muy general, tanto si se trata de la regeneración de un bosque que se ha quemado, o de la se-

cuencia de organismos, entre los cuales son particularmente aparentes las especies de artrópodos que se desarrollan sucesivamente en un excremento de bovino abandonado en un prado alpino. Ofrecen buenos ejemplos de segmentos de lo que se llaman sucesiones ecológicas. Un espacio abandonado que se va cubriendo de hierba y acaba generando un bosque es otro ejemplo aparentemente más positivo de sucesión. Cuando determinadas series sucesionales se repiten una y otra vez, constituyen marcos apropiados para la evolución, pues unas mismas especies se ven sometidas repetidamente a presiones selectivas en dirección equivalente.

Los ecosistemas realmente frecuentes en un país o en un espacio marino, que han tenido éxito en sobrevivir con su complejidad o que han sobrevivido gracias a ella, representan una pequeña fracción del número infinito de composiciones imaginables. El grado de diferenciación y aun el éxito que han tenido los ecosistemas supervivientes pueden mostrar límites confusos, aunque permiten reconocer indudables características comunes. Algunas de ellas parecen obvias también a partir del estudio de la geografía de las plantas y de los animales, según si tienden a ser oportunistas o si se asientan persistentemente en áreas extensas. Las mismas observaciones permiten reconocer las relaciones que existen entre las propiedades físicas del entorno y la presencia de determinadas combinaciones de especies de organismos vivos. Sólo una fracción de las especies o de las combinaciones genéticas que se han generado en el curso de la historia llegan a subsistir por periodos de tiempo muy largos. El estudio de los fósiles nos enseña que ha existido una continua renovación de las floras y de las faunas. La observación de la heterogénea distribución de las diversas especies, con sus tendencias a encontrarse juntas o separadas, las particularidades de las floras y faunas locales, resultado de las relaciones de parentesco expresadas a lo largo de la evolución y con las migraciones realizadas sobre el plano de los continentes, pudo ya constituir, de por sí y ya desde antiguo, la ciencia de la biogeografía. Desde siglos y sobre el cañamazo de una biogeografía elemental, los naturalistas observadores más curiosos, en cierto modo ecólogos *avant la lettre*, se dieron cuenta de muchas regularidades, anticipando aplicaciones y aun tratando de explicar situaciones conflictivas que condujeran o explicaran las distribuciones actuales de las especies así como otros aspectos de la ciencia de la biogeografía. Por supuesto, la biogeografía fue terreno adecuado para inspirar y confirmar teorías evolucionistas.

Nada hay como los contrastes para servir de estímulo a la ciencia y aquéllos se hacen más aparentes y convincentes cuando coinciden

diferentes criterios —por ejemplo unos mismos límites geográficos en la distribución de muchas especies—, o la convergencia de ciertas funciones orgánicas, como el comportamiento de la vegetación o su distribución en función de la composición de los suelos. Todo ello conduce a sistematizaciones no necesariamente idénticas o equivalentes. Así distinguimos tipos de bosques, tipos de suelos, diferenciaciones locales y aun temporales en el plancton marino, etc. Se pueden ver como ecosistemas que alcanzan diferentes grados de organización, tipificarlos, ordenarlos en las secuencias históricas en que se presentan (sucesiones) y aun intentar clasificarlos utilizando criterios variados, procurando descubrir o reconocer características comunes, significativas o exclusivas de grupos de diferente categoría. Todo ello conduce a tipificar u ordenar los sistemas formados por muchas especies que se pueden ver como más o menos características, siempre en relación con las características físicas de los entornos respectivos. Es importante también que ello nos lleve a poder anticipar los resultados de determinadas intervenciones humanas sobre los mismos. La ecología presupone una correcta taxonomía, pero las afinidades electivas en la constitución de los ecosistemas tiene que ver algo, aunque no mucho, con las afinidades o parentesco resultantes de la evolución.

Las secuencias históricas más frecuentes o repetidas, en el desarrollo temporal de los ecosistemas, constituyen las que fueran llamadas sucesiones ecológicas. En cada una de ellas intervienen, entrando y saliendo, numerosas especies, que suelen desarrollarse progresivamente unas tras otras en el tiempo, de modo que vienen a ser como una vía, supuestamente progresiva, que conduce de la primera ocupación de un espacio libre hasta, pongamos por caso, un bosque complicado, que, en lo vegetal, llega a combinar raíces profundas, capaces de extraer agua en profundidad, con una altura (cerca de 100 m de altura alcanzan las secoyas y pocas especies más) del dosel que hace sombra a otros vegetales potencialmente competidores. Por otra parte, en el suelo, las múltiples especies de hongos sobreviven a base de materia orgánica muerta o matada y tienden, a su vez redes de transporte de materiales que nada tienen que envidiar a las de las raíces.

Aún podríamos apurar otras enseñanzas de estas historias. La materia más noble, como soporte de la vida, contiene necesariamente fósforo, que suele ser el elemento que empieza a escasear más pronto en el entorno, y, por tanto, aparece como particular limitante de la vida. Pero, aunque falte el fósforo, la planta puede sintetizar madera, construir con ella raíces y troncos, que, respectivamente, profundizan en el suelo en busca de agua o apuntan hacia el cielo ansiosos de luz. Es la razón del éxito de los ecosistemas continentales, que vienen a

ser, por unidad de superficie, unas tres veces más productivos que los marinos. Esta relación, que debe considerarse como aproximada y nada más, ofrece ocasión de añadir que la productividad biológica de la Tierra, a nivel de los productores primarios, o sea, de los vegetales, se podría evaluar, en una aproximación más bien grosera, en dos cantidades parecidas, una para los continentes y otra para los mares, cada una de ellas en torno a 60 teravatios. La producción primaria total de la Tierra (o Gea, como se estila decir ahora, después de Lovelock) podría aproximarse a unos 115 teravatios por año, empleados en la síntesis de unos 90 miles de millones de toneladas de carbono orgánico.

Por supuesto, la respuesta de los ecosistemas naturales a las distintas formas de cualquier clase de interferencia, y en especial de la humana, nos puede aclarar muchos aspectos de la organización y propiedades de los mismos ecosistemas. Son experimentos que nos vienen ofrecidos espontáneamente por nuestra civilización, ciertamente con mayor frecuencia de la deseable. La explicación razonable de las diferencias observadas en el tiempo o en el espacio constituye buena parte tanto de los fundamentos como de las conclusiones de la ecología y resulta fácil reconocer su generación histórica, especialmente en aquella fracción que depende de la humanidad y de su civilización.

La ecología que describe los distintos tipos de entornos y de sus respectivos conjuntos característicos de organismos vivos, llámense comunidades o ecosistemas, debe ir seguida de una ecología más orientada a desvelar y tratar de sistematizar y explicar algunos principios generales, que puede tener más pretensiones de ciencia que una simple descripción, y ser consecuentemente más útil para orientar nuestras intervenciones, sea a favor de una explotación sostenible de recursos útiles o bien a preferir la conservación del ecosistema sin desviarse demasiado de sus características prístinas. Hay que añadir que en los tiempos que corren es prácticamente imposible conseguir este ultimo propósito conservacionista, aunque el estudio de la respuesta a las perturbaciones —ordinarias y regulares, fortuitas o intencionadas— ayuda notoriamente a crear ciencia ecológica, de la misma manera que la preocupación por las enfermedades y su curación constituyó un estímulo fundamental para incrementar el conocimiento de la fisiología humana. Por supuesto, existe también la razón práctica que nos sugiere que un mejor conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas nos permitirá mejorar tanto su explotación como su tan deseable conservación, aunque ésta encuentre muchas limitaciones.

Mencionar nombres y diferentes puntos de vista nos llevaría demasiado lejos; pero conviene, por lo menos, recordar algunos con-

trastes o divergencias de opinión entre diferentes autores o diferentes escuelas, en especial cuando contribuyeron a crear formas de opinar que han resultado constructivas o que perduraron por otras razones. Haeckel (1838-1919) y Hensen (1835-1924), ambos alemanes, tipifican situaciones análogas a las que pudieron repetirse más tarde. Aunque Haeckel fue quien propuso el nombre de ecología, Hensen quizá se mostró más realista y efectivo, a través de sus estudios sobre la vida marina, principalmente del plancton y de su dinámica, es decir, de aquellos organismos, en su mayor parte diminutos, que viven suspendidos en el agua de mares y lagos, interactuando entre sí en el seno del agua. Su conjunto se aproxima más a la visión ideal de lo que podría ser un ecosistema, en un grado que admite incluso alguna comparación con un sistema químico relativamente simple. Para la discusión puede ser baladí, porque hoy día la palabra ecología y aun la ciencia que la cubre han alcanzado tanta difusión en los medios de comunicación, que se ha degradado no poco su significado, con mengua de las deseables cualidades de rigor, responsabilidad y aun de eficacia.

Ya se ha mencionado la sugerencia del científico inglés contemporáneo James Lovelock, que propone personalizar nuestro planeta con el nombre de la diosa Gaia o Gea —que es lo mismo que llamarla Tierra, aunque pueda parecer más fino—, como unidad funcional, con una historia evolutiva común o colectiva, en una aproximación bien intencionada, aunque no debiera haber sido propuesta en forma tan antropomórfica ni tampoco demasiado utilizada con pretensiones moralizantes. El viejo planeta o Gaia es muy capaz de cuidar de sí mismo, si hace falta eliminando esta especie de pulgones humanos que lo parasitan.

Lo tradicional y tal vez lo más instructivo, y por ello importante, es darse cuenta de las heterogeneidades del entorno planetario, que han servido de marco y han encauzado, en direcciones diversas, sendas rutas de evolución con un fecundo proceso de especiación, al ofrecer muy diversas posibilidades de vida, tanto en relativa coincidencia como en segregación. La heterogeneidad del entorno planetario ha cumplido maravillosamente su función de servir como matriz de la evolución. La diversidad de especies se configura así como otra expresión alternativa del lenguaje de la naturaleza. Las especies compiten entre ellas, segregándose, o bien se complementan y se hacen mutuamente necesarias.

Como si para asegurar el futuro lo mejor fuera hacer más complicado el sistema. Quizá sea la principal ley de la vida. Un atractivo ejemplo de mecánica natural, modélica por lo repetible y que ha operado tanto en ecología como en evolución, se expresa o expresaba en

los meandros de los ríos. Me gusta usarlo como ejemplo, también porque, en cierta medida, se puede asociar con el símbolo del *yin* y del *yan* de la filosofía china. Su validez tiene analogías con muchos otros modelos aplicables a una dinámica más general, incluyendo la que aparentemente rige nuestra civilización y, por supuesto, la de nuestra vida: la construcción lenta y el retorno o la destrucción brusca, para volver a empezar, quizá por nuevos vericuetos. Y es seguro que cada turno añadirá por lo menos su pizca de novedad.

En un sentido más amplio de la biología, lo que se acaba de escribir resulta ser aplicable y útil para entender por lo menos un aspecto de cómo la sucesión ecológica puede servir de marco a la evolución biológica. Al escribir sucesión nos referimos a la secuencia histórica de las comunidades o ecosistemas que se van reemplazando unos a otros en un mismo sitio, a medida que transcurre el tiempo. Puesto que marcos ambientales equivalentes y procesos ecológicos muy semejantes se repiten una y otra vez, en las mismas o en diferentes áreas, los caminos practicables u ofrecidos a la evolución no sólo se reiteran —y aseguran— al ofrecer escenarios equivalentes, mas también pueden hacerse variados o múltiples y siempre se pueden encontrar o reconocer nuevos atajos en las combinaciones entre caminos y destinos.

Por supuesto, las secuencias reiteradas pueden y han de servir, en su insistencia, de marco a la operación repetitiva de la selección natural, también por mantenerse durante periodos más o menos largos presiones ambientales selectivas, de tipo parecido, sobre la variabilidad genética de las especies. No sería de extrañar, por tanto, que la misma evolución quede o acabe fatalmente encajada en la sucesión ecológica.

Se podría formular una ley aplicable de manera muy general a los cambios históricos de los sistemas ecológicos naturales, en los siguientes términos: «Marchar lo más rápidamente posible hacia un estado de relativa estabilidad estructural y funcional, especialmente cuando tal situación llega a conseguirse, quizá de manera inevitable, aumentando de manera asintótica la complejidad del ecosistema». Y no deben pasarse por alto las analogías fundamentales, que tales trayectorias reales ofrecen, en relación con las asimetrías del cambio y con los modelos inspirados por la física y nacidos de ella.

En este sentido hay que recordar, por lo menos, desde el nombre de Vito Volterra (1860-1940), ilustre matemático italiano que abrió los ojos a muchos ecólogos, empezando por su propio yerno Umberto d'Ancona, hasta el genial físico norteamericano Richard P. Feynman (1918-1988), que ayudó también a intuir cómo los procesos ecológicos de cambio manifiestan aquello que se puede interpretar como

una considerable prisa en alcanzar cierto estado de equilibrio, que, por cierto, casi siempre resulta ser transitorio, aunque por razones externas al sistema. Todo ello se combina con cierta tacañería que modera cualquier despilfarro de energía.

Por supuesto, la eficaz combinación de la parsimonia evolutiva, y, a la vez, de su eficacia, combinada con el espectro de perturbaciones ambientales —cuya frecuencia suele ser inversamente proporcional a su intensidad— mantienen a la evolución en vilo. A su vez, en ello se puede reconocer el origen de algunas de las regularidades históricas que más se repiten en los procesos evolutivos, como son el aumento del tamaño, o la especialización en actividades que se hacen esenciales.

Lotka y luego Volterra introdujeron consideraciones matemáticas supuestamente aplicables a los sistemas con muchas especies interactuantes, que son los ecosistemas reales. Se empezaba proponiendo estudiar sistemas binarios, para ir a complicarlos luego aumentando el número de especies interactuantes. El sistema más elemental era el constituido por un depredador y su presa. Se suponía y así parecía poder demostrarse que había situaciones en que los sistemas fluctuaban o que, con ciertos supuestos, se podían estabilizar en torno a ciclos numéricos. Cuando el depredador aumentaba, la presa debía disminuir, provocando una escasez de alimento que perjudicaba, a su vez, a la población del depredador. Este modelo simple puede parecer acertado, pero pronto se manifiestan sus limitaciones: por una parte ha de reconocerse que las biomasas, tanto la del depredador como la de la presa, no son magnitudes continuas, sino cuantificadas, en relación con los tamaños —variables, por lo menos por razón del crecimiento individual—. Por otra parte, muchas de las entidades consideradas son capaces de recordar y aprender, y esto a nivel de individuo o de especie (en este caso de manera hereditaria, por selección natural). La realidad es que si se representan sobre las dos dimensiones de un plano las abundancias respectivas en cada par de especies interactuantes, no han de dibujar necesariamente una curva cerrada, sino más bien debe esperarse una espiral.

El problema adquiere otro grado de complicación cuando consideramos que las redes alimentarias o tróficas se extienden entre un número de especies muy grande y creciente. Pero más interesante es pensar que el ecosistema adquiere un desarrollo en el tiempo, aumentando el número de especies, previa selección de candidatas, y siguiendo con una reorganización del sistema. En esto consiste la sucesión ecológica, o desarrollo histórico del ecosistema, y en el análisis de tal modalidad de cambio entran consideraciones de tipo genuina-

mente físico, intuidas por Volterra y concretadas por Feynman en un sentido tal que podría corresponder al dicho popular catalán *embolica que fa fort*, traducible en este caso en el sentido de que una organización que ha ido complicándose progresivamente adquiere una resistencia especial, lo cual siempre ha sido cierto, como lo justifica la realidad de la propia sucesión ecológica. Por otra parte, las mismas sucesiones se repiten aquí y allí —pensemos en el ejemplo del desarrollo de la vida en una boñiga de vacuno en la montaña— de manera que constituyen un material que se presta a experimentos poco costosos y posibilita hacer un número ilimitado de réplicas.

La evolución de la línea de la humanización ha influido de manera decisiva en la ecología de la biosfera y aun en el significado de la misma biosfera como marco dentro del cual acontece la evolución biológica como tal. Se puede mirar como un ejemplo excelente de retroalimentación. La humanidad crea un sistema de comunicación que requiere un pensamiento más consciente de sí mismo. Con la destreza manual aparece y se desarrolla la capacidad de influir mecánicamente, de manera directa o indirecta —ésta a través de «máquinas»— sobre el mundo. Se intensifica el sentido de territorio y de propiedad. Y aparece el dinero y el cambio de valores materiales. También el lenguaje y las culturas, cuya diversificación engendra a menudo conflictos y choques.

La que puede denominarse ecología humana queda un tanto al margen de la ecología de los llamados «sistemas naturales», aunque sigue siendo indudable nuestra dependencia de la biosfera en general, así como el efecto de la humanidad sobre los mismos ecosistemas. Efecto que se reduce prácticamente a la extracción de recursos y a la simplificación de amplias extensiones de los antiguos sistemas naturales.

La evolución humana ha incluido la invención del numerario, del dinero. La globalización acelerada de la economía en el curso de la historia, con el aumento de la acción a distancia, no deja de incidir sobre la ecología, con la posibilidad de alterar profundamente ecosistemas situados a distancia, por si no fuera bastante con los locales. El resultado ha sido una acelerada inversión en las fases distinguibles en la estructura de la biosfera. Antiguamente los asentamientos humanos eran relativamente poco extensos y discontinuos, con poca relación, cuando no enemistados con otros asentamientos comparables y relativamente vecinos.

Actualmente se está observando una inversión en la distribución o topografía de las fases en la superficie de la biosfera, o quizá, para escribir más propiamente, en su topología. La superficie humanizada está pasando de una situación en que formaba manchas discontinuas

y relativamente aisladas unas de otras, a convertirse en una red continua y cada vez más transitada, mientras que la naturaleza en su estado más o menos natural, generalmente menos que más, va siendo recortada o confinada hasta quedar reducida a manchas discontinuas, que comúnmente resultan ser poco sostenibles, tanto por su extensión limitada como por la influencia negativa del poder creciente de la tecnología humana.

Este aspecto de la evolución del paisaje humanizado podría constituir uno de los temas más interesantes y aun de los más preocupantes de la ecología actual. Estudios recientes y cuidadosos de áreas fuertemente humanizadas nos muestran este aspecto de la globalización, bien manifiestos en los mapas, aunque probablemente menos evaluables cuantitativamente, por lo menos de momento (considérense, como ejemplo modélico, los comentarios que pudieran hacerse extrapolando el significado de los excelentes mapas y datos presentados en *Umwelt NRW*, *Daten und Fakten*, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 2000). Se podría pensar que los ecosistemas marinos, suspendidos en las aguas marinas o anclados en sus fondos, pudieran suministrar un modelo ecológicamente aceptable para establecer escalas y comparaciones, por lo menos en atención a la fugacidad o velocidad de cambio y evolución de los ecosistemas pelágicos, es decir, los suspendidos en el agua, como el plancton.

Pero no basta con la descripción de la evolución en los motivos de distribución o en cualquiera de las descripciones aplicables a los procesos que a ellas conducen que, en el caso de los humanos, incluyen energías exosomáticas o totalmente externas, es decir, algo por fuera, en espacio y en complejidad, de lo que permitiría el metabolismo biológico propio, lo cual introduce una tecnología y el uso de energía en intensidad creciente. Ello proporciona poder y se ha convertido en un factor muy importante de la competición persistente entre grupos humanos.

Puede ser instructivo meditar sobre algunos aspectos que se pueden considerar significativos, desde el punto de vista de nuestra evolución cultural, como es el uso de vestidos, la domesticación de animales de monta o de tiro que proporcionan energía, todo ello seguido de un sistema cada vez más complicado de cubiertas, viviendas o medios de locomoción extrapersonales, con el correspondiente uso cada vez mayor de energías externas, incluidas las que no son directamente de naturaleza biológica.

Tal desarrollo va acompañado de la adquisición y desarrollo de una eficacia creciente de la comunicación a distancia, a veces asociado con un efecto, que pudiera ser positivo, mediado por el dinero,

que viene a sustituir en algunos aspectos al instinto del territorio propio, que en alguna forma es casi general en muchos vertebrados superiores. Es posible que en los insectos sociales el sentido de territorio pueda encontrar una expresión diferente en relación con su comportamiento reproductor, restringido a una casta dominante.

El desarrollo de la actual civilización, de la que nos sentimos tan orgullosos los humanos, tiene también sus lunares o aspectos inquietantes; la acción a distancia no puede ocultar sus debilidades o sus inconvenientes, si se quiere contemplar en un sentido global, sin los prejuicios que por el momento pueda incluir nuestra civilización particular. Especula Blaise Pascal (1623-1662), en alguno de sus escritos, que si, sufriendo de un fuerte dolor de muelas y suponiendo que por su voluntad pudiera transferirlo a un chino, como tipificación de persona ajena y que forma parte de un conjunto prácticamente innumerable, lo haría.

Creo que esto da idea de lo que puede representar el poder adquirido por medio del desarrollo y aceptación de los sistemas monetarios y financieros. Suspendiendo cualquier valoración hay que volver a recordar que nuestra civilización ha permitido intensificar el cambio de la topología del paisaje, que ha pasado de ser una estructura de asentamientos relativamente discontinuos y poco comunicados entre sí a constituir un retículo continuado que deja a las pretendidas «reservas naturales» discontinuas o aisladas y cada vez en un estado más precario. Estas modestas sugerencias pueden bastar para hacer ver el carácter influyente y exageradamente dominante de la porción más «organizada» de la humanidad actual sobre los sistemas ecológicos naturales. Ojalá la reacción nos hiciera ver la conveniencia y aun la necesidad de desarrollar cierto mínimo sentido de responsabilidad ante ello, sin limitarnos a cantar las bellezas naturales y admirarnos, a la vez, del poder de nuestra civilización, demasiado inconscientes de la dificultad de encontrar una conjunción deseablemente sabia, que por lo menos nos permita moderar la explotación con las ansias de conservar la admiración y seguir tirando por un cierto tiempo o por nuestra vida. Y que el que venga detrás que arree.

De momento podemos continuar contemplando, definiendo y evaluando los mecanismos y los procederes admirables de la propia naturaleza, entre otros, de aquellos sistemas que combinan sucesión y evolución con eficacia creadora y sabia. La sucesión ecológica completa se basa en la operación de un conjunto de mecanismos que conducen de un ambiente prácticamente vacío a un ecosistema relativamente estabilizado, pero sin perder su creatividad. Se reconocen sucesiones a todas las escalas de tiempo, desde la que se enmarca en

la boñiga que un rumiante dejó caer en la montaña, donde casi todo se aprovecha gracias a la intervención de una secuencia regular de muchos organismos de diferentes especies, entre los cuales podremos reconocer con mayor facilidad a los insectos y a sus larvas, hasta que los residuos nutritivos se van consumiendo y lo poco que queda es asimilado o incorporado por el suelo.

En otra escala de tiempo, una secuencia comparable pudo ocurrir y acabar con el Mesozoico, hace entre 100 y 200 millones de años. Con su fin se interrumpió la antigua situación muy estratificada de las aguas oceánicas, que acompañara la anoxia de las aguas más profundas, una época que coincidió con la existencia de grandes ammonites, flotando como submarinos en las proximidades de la superficie de los mares, al tiempo que los grandes dinosaurios campeaban sobre los continentes.

Aunque sin alcanzar la magnitud de los acontecimientos que se recuerdan en el último párrafo, conocidos —afortunadamente— de manera indirecta y que ocurrieron hace el orden de unos 60 a 70 millones de años, sucesiones ecológicas con dinámica y resultados equivalentes se repiten aquí y allí. No sé si aquí vale el supuesto de que la sucesión ecológica tiende a alcanzar un reposo relativo con la mayor rapidez posible. Pero se combinan con estos cambios atajos y simplificaciones en los caminos de la evolución, dentro de un espectro aleatorio, no exento de alguna regularidad.

LA GENÉTICA DEL DESARROLLO: ¿DERRIBO O AMPLIACIÓN DEL DARWINISMO?

Magí Cadevall

1. INTRODUCCIÓN

Cuando en 1959 se celebró el centenario de la publicación de *El origen de las especies* (y los 150 años del nacimiento de Darwin) las aguas estaban muy tranquilas. Después del llamado eclipse del darwinismo, la teoría sintética de la evolución depuró y completó algunos aspectos de la teoría de Darwin, pero de hecho recogió sus principales y más peculiares aspectos: la selección natural es la fuerza principal que dirige la evolución y los grandes cambios son debidos a la gradual acumulación de pequeñas variaciones. En los congresos y publicaciones del centenario las discrepancias eran mínimas.

Varios son los retos que, especialmente en las últimas décadas, se han presentado contra el gradualismo y adaptacionismo ortodoxo. Podemos mencionar la teoría del equilibrio interrumpido de Gould y Eldredge, la teoría de Margulis de formación de los eucariotas por simbiosis y la moderna genética del desarrollo.

En este artículo se dedica una atención especial a Gould, porque históricamente ha sido uno de los inspiradores y sirve con frecuencia de apoyo inicial teórico a muchos de los modernos trabajos que cuestionan el seleccionismo, pero vamos a examinar especialmente las implicaciones de la genética del desarrollo para la teoría de la evolución. Varios son los motivos para tener en cuenta y valorar las implicaciones de la moderna genética del desarrollo. Muchas de las alternativas a la teoría sintética tenían un carácter altamente especulativo y las pruebas empíricas, según la opinión de muchos biólogos, no eran decisivas para ninguno de los modelos alternativos. Mucho más difícil todavía era decidir la frecuencia relativa de los procesos postulados

por los distintos modelos. La genética del desarrollo tiene la ventaja de ser una de las investigaciones biológicas más imaginativas y con resultados más sorprendentes, con el valor añadido de que su impacto sobre la teoría de la evolución está fundamentado en una sólida base empírica y experimental.

La conclusión que se defiende en este trabajo es que permite dos interpretaciones o al menos dos énfasis distintos. La visión de la dinámica interna de los sistemas piensa que los episodios importantes de la evolución son impulsados desde el interior del sistema, que son saltos evolutivos y que la selección sólo explica los ajustes menores. La visión alternativa entiende que la duplicación de sistemas son saltos que explican la complejidad, pero que la selección natural sigue siendo la explicación básica de la diversidad y el diseño.

2. EL GRADUALISMO DARWINISTA Y LA TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN

Darwin ha sido uno de los científicos y pensadores que más ha transformado nuestras ideas sobre el mundo y la humanidad. Como es bien conocido, su mérito y originalidad no consistió en proponer la idea de la evolución, idea común en su época. La aportación de Darwin tiene dos elementos importantes. Por un lado contribuyó decisivamente a que la comunidad científica adoptara mayoritariamente la idea de la evolución, al realizar una presentación rigurosa de la teoría, aportando numerosos datos y examinando detenidamente sus dificultades. Por otro lado no se contentó con proporcionar pruebas del hecho de la evolución, sino que formuló un mecanismo explicativo, la selección natural, que presupone que existen siempre variedades que son heredables y que nacen más individuos de los que pueden sobrevivir y reproducirse. La lucha por la existencia hace que las variedades mejor adaptadas dejen más descendencia, produciendo a la larga adaptación y diversidad. En esto consiste la selección natural.

Dos caracteres me interesa resaltar de la teoría darwinista: el gradualismo y la casi omnipresencia de la adaptación. Darwin pensaba que la selección actuaba sobre pequeñas variaciones que, acumuladas a lo largo del tiempo, producían grandes cambios y daban origen a las especies. Las variedades eran para él especies en formación. Uno de los motivos del gradualismo era sin duda la lucha contra el creacionismo. El catastrofismo, vigente anteriormente en geología y biología, al explicar la realidad actual mediante grandes episodios únicos e irrepetibles, apelaba a la intervención directa del creador. El actualis-

mo y gradualismo de Lyell en geología y de Darwin en biología hace innecesaria la intervención directa del creador.

El otro aspecto clave de la teoría darwinista es el papel fundamental de la adaptación. Aunque Darwin conocía que las leyes de correlación entre caracteres pueden explicar la existencia de rasgos desfavorables, pensaba que el resultado normal de la selección era la adaptación.

Tanto el gradualismo como la selección natural fueron cuestionados desde la publicación de *El origen de las especies*. El principal argumento contra el darwinismo estaba relacionado con la explicación del diseño. La selección era considerada una fuerza meramente negativa incapaz de explicar el aspecto creativo de la evolución. Tres fueron las alternativas consideradas durante más de medio siglo: el lamarckismo, el saltacionismo y la ortogénesis. El lamarckismo tenía la aparente ventaja de resaltar la fuerza interna y la respuesta positiva del individuo frente al ambiente. Para el saltacionismo, promovido principalmente por Bateson y De Vries, la aparición súbita de grandes cambios explicaba la aparición de nuevas estructuras. La teoría de la ortogénesis, sustentada por paleontólogos, trataba de explicar mediante fuerzas internas las tendencias evolutivas que aparecen en el registro fósil.

El darwinismo ha sido siempre pluralista en mayor o menor grado, aunque propone la selección natural como principal mecanismo evolutivo. La moderna teoría sintética de la evolución, confluencia de la teoría de la herencia mendeliana y la de la selección natural, supone una restauración del darwinismo, aunque lo depure y complemente. Abandona la acción directa de las condiciones de vida y la acción del uso y del desuso, mecanismos lamarckistas admitidos por Darwin como secundarios. Por otro lado introduce una nueva dimensión aleatoria a través de la deriva genética. En todo caso la moderna síntesis recoge el gradualismo y el adaptacionismo, elementos básicos del darwinismo. Extrapola la microevolución gradual para explicar la macroevolución y generalmente analiza los caracteres aislados para buscar una explicación adaptativa para cada uno.

En realidad, la síntesis fue una obra plural de autores diversos que procedían de campos distintos, como Wright, Fisher, Haldane, Huxley, Dobzhansky, Simpson y Mayr. Los autores críticos con la teoría sintética hablan de ortodoxia darwinista. Gould, por ejemplo, considera que la primera etapa de la teoría sintética en los años treinta fue más pluralista. En cambio en la segunda etapa, aproximadamente a partir de 1950, se habría producido un endurecimiento o esclerotización de la síntesis, acentuándose el adaptacionismo gradualista (Gould

2002, 505). Es innegable que hay un mayor énfasis en la adaptación producida por la selección natural, pero, al menos nominalmente, incluso los textos citados por Gould siguen reconociendo el papel de los procesos aleatorios, como la deriva, la fundación de nuevas poblaciones a partir de pequeñas muestras, la migración y el aislamiento. Lo que se ha llamado ortodoxia de la teoría sintética queda más claramente ejemplificado por autores más recientes como Dawkins.

3. LOS RETOS AL DARWINISMO

A lo largo de su vida Gould presentó batalla a la ortodoxia darwinista en frentes distintos, pero todos ellos relacionados: la evolución a saltos, la selección de especies, la importancia de las constricciones tanto históricas como estructurales, la crítica al adaptacionismo y el énfasis en el papel de las extinciones en masa y del azar. Esta tarea crítica culmina en su última gran obra *The Structure of Evolutionary Theory*, que tiene un doble carácter: una reivindicación histórica de las alternativas al darwinismo eclipsadas por la moderna síntesis y no menos una recopilación de los recientes argumentos a favor de una teoría pluralista de la evolución. Aunque sus palabras textuales reclaman una visión equilibrada (Gould 2002, 1154-1155) y propone un modelo triangular, que integre tanto la tradición funcional como la tradición formalista y las contingencias históricas (Gould 2002, 1052), lo cierto es que en la práctica pone el acento en los saltos evolutivos, en la fuerza creativa de las constricciones estructurales y en el peso de las contingencias históricas.

Ya en 1972 propuso, junto con N. Eldredge, la teoría del equilibrio interrumpido (*punctuated equilibrium*) sobre los ritmos de la evolución. Uno de los problemas del gradualismo es la aparición de discontinuidades en el registro fósil, que Darwin trató de solventar apelando a la imperfección del registro geológico. En oposición al gradualismo, Gould sostiene que la velocidad del cambio dista mucho de ser constante. Cortos intervalos de evolución rápida, en los que se originan las especies y los grandes cambios macroevolutivos, son seguidos de largos periodos en los que la microevolución, estudiada por la genética, no aporta grandes novedades. La macroevolución tiene sus propias leyes y los paleontólogos deben tener un papel fundamental en su formulación.

El segundo eje de su rebelión contra la esclerotización de la síntesis es la denuncia, que realizó junto con R. Lewontin, de los excesos del adaptacionismo (Gould y Lewontin 1979). A la omnipotencia

de la selección adaptativa opone el peso de las constricciones estructurales heredadas. Afirma que la teoría sintética concibió la mutación aleatoria como variación sin constricciones, que puede ir en todas direcciones, asegurando la perfecta adaptación gracias a la selección natural. El adaptacionismo explica las convergencias evolutivas (por ejemplo, las repetidas apariciones independientes de órganos de visión) por la acción adaptativa de la selección sobre variaciones aleatorias; en cambio, Gould piensa que las soluciones casi idénticas muchas veces son el fruto de la existencia de canales evolutivos debidos a constricciones estructurales internas. No toda dirección está permitida ni todos los estados son posibles, de tal modo que, si no aparecen formas intermedias, es porque hay una sucesión discreta de equilibrios estructurales. Finalmente otro de los mensajes de Gould es el papel del azar: en las extinciones en masa la supervivencia depende más del azar que de la adaptación.

Para evaluar las propuestas de Gould hay que tener en cuenta al menos tres aspectos. En primer lugar, existe un tema teórico: ¿qué modelos son aceptables? Probablemente lo son tanto los modelos gradualistas como los saltacionistas y lo mismo podemos decir de los distintos niveles de selección. Es función de la teoría articular dichos modelos y demostrar su compatibilidad con los hechos conocidos y con las teorías aceptadas. En segundo lugar, está la cuestión empírica sobre la frecuencia relativa de aplicación de dichos modelos a la historia evolutiva. En este terreno quedan muchas incógnitas por resolver, pero probablemente la exposición de Gould es bastante sesgada. Finalmente hay una vertiente filosófica de gran trascendencia, que es el coqueteo de Gould con lo que llama empirismo literal. Gould tendió a presentar sus ideas como grandes revoluciones conceptuales para reducirlas a propuestas de reforma tras examinar las críticas recibidas por parte de la ortodoxia. Una de las formas de rebajar sus primitivos planteamientos ha sido la idea de que la ciencia empírica es la teoría de lo que aparece. La teoría del equilibrio interrumpido no es ya «una llamada radical para un cambio verdaderamente repentino», sino la constatación de que los procesos de formación de especies se originan de una manera geológicamente repentina en sencillos estratos (Gould 1992, 21). El saltacionismo ha insistido en ponderar la aparición repentina de nuevas formas de vida en la llamada explosión cámbrica, pero, cuando los datos más recientes apuntan a que el episodio no fue tan explosivo y que tiene raíces más antiguas, Gould responde que «los paleontólogos nunca miraron la explosión cámbrica como un acontecimiento genealógico», se trataba sólo de «un abrupto origen geológico» (Gould 2002, 1156). En tal caso la teoría,

en vez de explicar lo que ocurrió y sus causas, se convierte en una prototeoría de lo que vemos, en empirismo literal. Incluso llega a defender a Cuvier y al catastrofismo de la acusación de sesgo ideológico aduciendo que se trata de un empirismo literal: si el catastrofismo habla de revoluciones geológicas es porque en el registro geológico aparecen interrupciones (Gould 2002, 485). Con ello la ciencia pierde su relevancia explicativa. No cabe duda que Darwin cometió errores empíricos y teóricos, pero lo que no se puede negar es la relevancia explicativa de su obra, imbuida de la pasión por la explicación.

Otro de los retos al gradualismo de la moderna síntesis es la teoría, propuesta y defendida principalmente por Lynn Margulis, de la formación de las células eucariotas por simbiosis. Los seres vivos se dividen en procariotas, células relativamente simples que carecen de núcleo, y eucariotas, cuyas células son más complejas, dotadas de núcleo con la mayor parte del ADN y de algunos orgánulos como las mitocondrias. Las formas de vida más complejas y de mayor tamaño están formadas por células eucariotas. La cuestión clave para la teoría de la evolución es si la radical diferencia que existe entre ambos tipos de células es el resultado de una evolución gradual o bien se trata de uno de los saltos evolutivos de mayor trascendencia para la historia de la vida.

La respuesta de Margulis es que la evolución de los eucariotas no fue gradual: se formaron por unión y simbiosis de dos células preexistentes, una célula hospedadora y otra hospedada. La unión en un primer momento fue por azar, pero al realizarse la simbiosis se tornó necesaria para ambos tipos de células. La prueba más decisiva de esta hipótesis es que el ADN de las mitocondrias de la célula eucariota es más semejante al de las bacterias procariotas que al del núcleo de la propia célula.

Los escritos de Margulis enfatizaron aspectos hasta entonces poco valorados, como la evolución microbiana, de gran trascendencia para la elaboración de las estrategias básicas de los seres vivos, pero además hay dos puntos que parecen contradecir el gradualismo adaptacionista de la síntesis: por un lado, la discontinuidad en el proceso evolutivo (Margulis 1970, 12) y, por otro, el papel de la cooperación en la evolución por simbiosis, en oposición a la competencia darwiniana entre organismos.

A pesar de ello, no puede concluirse que la teoría de Margulis se opone a la selección natural, sino que tiene más en cuenta la lucha de los seres vivos con el ambiente que la competencia entre organismos. Hay lucha y hay selección, pero el ganador no es nunca el individuo aislado. No sólo no niega Margulis la selección natural sino que afir-

ma que la presión evolutiva favorece las uniones simbióticas y cita expresamente la selección natural contra la redundancia como explicación de la simplificación de la célula hospedada (Margulis 1986, 80). Caben dos interpretaciones alternativas: se puede concluir que la idea de evolución por simbiosis se opone al darwinismo o se puede pensar que es un argumento más para añadir nuevas dimensiones a la teoría de la evolución.

Podríamos mencionar otros de los retos al darwinismo aparecidos en las últimas décadas. La teoría neutralista, propuesta entre otros por Kimura y Ohta, sostiene que la mayor parte de la variedad existente a nivel molecular no es debida a la selección sino a procesos aleatorios. De vez en cuando aparecen también intentos de resurrección del lamarckismo o algunas de sus imitaciones darwinistas como el efecto Baldwin, que darían un mayor peso en la evolución a la iniciativa individual del organismo frente al cruel imperio de la selección natural.

4. LA GENÉTICA DEL DESARROLLO

Hemos visto diversos retos al gradualismo que impregna la teoría sintética de la evolución. Uno de los retos más interesantes proviene de la nueva genética del desarrollo. Es un campo de confluencia de la embriología, la morfología, la genética y la teoría de la evolución. Esta nueva especialidad ha cobrado un nuevo impulso a partir de la genética molecular, que ha permitido seguir el rastro de los mecanismos de desarrollo hasta el nivel de los genes. La teoría sintética y la genética de poblaciones no se interesaba especialmente por los detalles del desarrollo de los organismos ni por su morfología. El desarrollo era considerado como una caja negra, sólo se tenían en cuenta por un lado los genes y por otro los resultados en la población. El análisis de la morfología tenía poca importancia, al ser explicada previa atomización de sus características y a partir de escenarios adaptacionistas formulados *ad hoc*.

Esta reciente síntesis ha sido llamada «evo-devo» (evolución y desarrollo) por las múltiples relaciones que establece entre las teorías de la evolución y del desarrollo. La relación funciona en los dos sentidos. Por un lado la teoría de la evolución es la clave para entender el origen y evolución del instrumental genético que controla el desarrollo. Por otro lado la genética del desarrollo está pidiendo cambios en la teoría de la evolución estándar. A veces se trata de aportaciones complementarias: puede ayudar a establecer y corregir filogenias, pre-

cisar cronologías e incluso aventurar el carácter que podía tener *Urbilateria*, el hipotético antecesor de todos los animales con simetría bilateral, entre los que nos contamos los humanos.

Con más frecuencia todavía, plantea auténticos retos a la teoría de la evolución. Los evolucionistas afirmaban que los órganos de visión se habían originado independientemente muchas veces en el curso de la evolución (tal vez entre cuarenta y sesenta veces). Las semejanzas funcionales en principio no implican origen común. Los fenómenos de convergencia evolutiva son frecuentes: la invención de las alas de las aves y las de los murciélagos son episodios históricos distintos, que no se explican por la existencia de un antecesor común. Las convergencias de diseño son explicables: se trata de buenas jugadas. A veces, como en el ajedrez, existen movimientos forzados (Dennett 1995, 128-135). Los seres que no los han realizado no han dejado descendencia. Aunque la invención de los ojos tiene toda la apariencia de ser una buena jugada, la genética del desarrollo postula el origen común de los órganos de visión en todos los animales bilaterales: los genes que controlan el desarrollo de los ojos de los animales están tan emparentados, que la probabilidad de un origen totalmente independiente es infinitesimal.

4.1. *Genes selectores*

Uno de los aspectos que más cuestiona la nueva genética del desarrollo es el gradualismo ortodoxo. Entre las más intrigantes anomalías descritas en el desarrollo animal está la sustitución de un miembro normal por un miembro distinto, que corresponde a otro segmento del cuerpo. Por ejemplo en la mosca mutante se desarrolla una pata en el lugar donde normalmente se desarrolla una antena. Ya a principios del siglo XX Bateson describió algunas de estas radicales transformaciones. En 1915 Bridges describió una curiosa mutación en la *Drosophila*: la mosca mutante tenía cuatro alas en vez de dos. Una triple mutación en el gen *Ultrabithorax* produce la sustitución de unos pequeños apéndices para estabilizar el vuelo, llamados halterios, por unas alas. Estas transformaciones resultaban fascinantes, tanto por la magnitud repentina del cambio, como porque la estructura desarrollada está bien formada, tiene la forma de una parte del cuerpo, pero aparece en un lugar equivocado. La mutación en un solo gen produce una gran transformación fenotípica, porque cambia de forma decisiva la ruta de desarrollo. La explicación es la existencia de genes selectores. Son solamente una pequeña fracción del genoma animal, pero su mutación puede producir cambios drásticos, porque controlan la expre-

sión de los otros genes, los genes realizadores. Durante la evolución estos genes han conservado su estructura básica en muy diversos *phyla*, pues probablemente sus cambios resultan letales para el organismo.

Los llamados genes *Hox* son algunos de los genes selectores que primero se investigaron y mejor se conocen. Al principio fueron identificados a través de mutaciones espontáneas, después fueron investigados sistemáticamente. No construyen estructuras corporales, sino que son los responsables del reconocimiento de la identidad de los segmentos del embrión y del organismo adulto. Su activación en dominios espaciales restringidos especifica la identidad de cada segmento del embrión, de forma que se desarrolle un miembro determinado. Su alteración produce transformaciones en la identidad de los segmentos con drásticos cambios en el desarrollo del organismo. Existen varias técnicas para constatar la transcripción en cada zona de los genes selectores, a través de la visualización de la expresión de las proteínas codificadas por dichos genes.

Además de los genes *Hox* existen otros genes selectores que especifican el destino de las células del embrión. Unos especifican las partes anterior y posterior de cada segmento, otros el eje dorsoventral. Se puede concebir el esquema general de diseño animal como una cuadrícula: unos genes selectores dividen el cuerpo en segmentos transversales y otros en franjas longitudinales (Sampredro 2002, 153). Según sean activados los distintos genes realizadores por los genes selectores, será distinto el destino de cada grupo de células del embrión para formar diversos órganos y partes del cuerpo.

Las pautas de regulación de los genes en el desarrollo animal son de una gran complejidad, lo que explica que un instrumental genético semejante pueda producir gran variedad de diseño en los distintos linajes animales. No basta que se expresen o no las proteínas codificadas por los genes, la respuesta depende de su concentración. Normalmente hay una doble actuación de activadores, que definen el área potencial de activación, y de represores que restringen las áreas en las que los genes realizadores son expresados. Con frecuencia hay un control combinatorio de varios activadores y represores. Quizá lo más importante para explicar la variedad de diseños y su evolución sea la existencia de una jerarquía reguladora, que produce una activación secuencial de los genes de forma que induce un desarrollo temporal determinado. La activación de los mismos genes con pautas temporales diferentes produce resultados distintos (Carroll, Grenier y Weatherbe 2001, 64).

Uno de los temas más intrigantes y de más relevancia teórica en los genes *Hox* es el parentesco que existe entre todos ellos. Hay, en primer lugar, un parentesco entre los distintos genes *Hox* de una mis-

ma especie animal. En la *Drosophila*, uno de los organismos modelo de la genética del desarrollo, existen ocho genes *Hox*. La estructura de todos ellos es tan parecida, que su evolución sólo puede explicarse por la duplicación de un gen *Hox* ancestral, que ya existía en un antecesor de la *Drosophila*. En segundo lugar, están emparentados los genes *Hox* de las distintas especies, semejanza sólo explicable postulando un antecesor común de los organismos que actualmente poseen tales genes selectores.

A nivel morfológico la teoría de la evolución establece la homología entre las alas de un pájaro y los miembros anteriores de un mamífero. La coincidencia de partes y de estructuras es tan grande que sólo puede explicarse por un antecesor común. Carácter distinto tiene la analogía o semejanza funcional entre las alas de un pájaro y las de un insecto, una analogía explicable funcionalmente por evolución convergente: dos linajes distintos han adoptado la misma solución. La genética del desarrollo establece que también hay homologías a nivel genético: la semejanza de estructura de los genes *Hox* sólo es explicable por el origen común. Un indicio de este parentesco evolutivo es que todos ellos tienen una secuencia casi idéntica, llamada caja homeótica, de 180 pares de bases (las letras del lenguaje del ADN) que en consecuencia codifican 60 aminoácidos, las unidades que forman las proteínas. Este fragmento de ADN, que se ha demostrado básico para la expresión de los genes, presenta coincidencias muy grandes en todos los genes *Hox*.

Además de los genes *Hox*, en las distintas especies hay genes selectores homólogos que son intercambiables entre sí, porque conservan parcialmente una estructura y una función común. Una mutación del gen *Eyeless* en la *Drosophila* produce la pérdida de tejido ocular, impidiendo el desarrollo normal del ojo. Esta anomalía puede subsanarse introduciendo artificialmente el gen homólogo de los humanos (que en todos los mamíferos se llama *Pax*-6). Lo sorprendente es que el gen homólogo humano produce en la *Drosophila* ojos de mosca y no ojos humanos, reconoce y es capaz de activar los genes realizadores que intervienen en el desarrollo del ojo de la mosca. La expresión, inducida artificialmente en una mosca, del gen *Pax*-6 de un ratón puede producir unos pequeños ojos adicionales, semejantes a los ojos compuestos normales de la mosca. El mismo resultado se ha obtenido con la expresión en la mosca del gen homólogo de un calamar. Estos resultados resultaron sorprendentes para los mismos autores de las investigaciones. Cuando Gehring mandó a Gould una copia de su artículo con estos datos, añadió el comentario a mano: el siguiente fragmento es fantástico (Gould 2002, 1125).

Tan fascinantes hechos requieren explicación. La explicación es que los genes reguladores homólogos se han heredado junto a un conjunto potencial de genes realizadores seleccionados por ellos. Los cambios afectan sobre todo a qué genes realizadores son activados y en qué orden y pauta temporal. El ejemplo no es único: el gen *Hox-4* humano puede suplir al gen homólogo de la mosca que dirige el desarrollo de la cabeza, produciendo cabezas de mosca y no cabezas humanas. Este carácter conservador de la evolución es intrigante porque el último antecesor común entre los mamíferos y los insectos vivió probablemente hace más de 500 millones de años.

La evolución del instrumental genético para el desarrollo es conservadora. No sólo subsisten genes homólogos debidos a un antecesor común (genes ortólogos), sino que se conservan parcialmente las proteínas codificadas y sus funciones bioquímicas. La conservación de las funciones bioquímicas, en cambio, no implica que los genes ortólogos tengan la misma función en el desarrollo.

4.2. *Duplicación y divergencia de los genes selectores*

Las analogías que existen entre los genes *Hox* y en general entre los genes selectores permiten hacer inferencias filogenéticas que permitan mejorar la historia y el árbol de la vida animal. Uno de los procesos básicos en el desarrollo del instrumental genético para el desarrollo es la duplicación y divergencia de los genes. Por ejemplo el 40% de los genes del pequeño gusano *Caernohabditis elegans* tiene una secuencia similar a otros genes suyos. Muchos de los genes se han originado por duplicación. Todos los genes *Hox* proceden de un gen primitivo. Existen diversas causas del fenómeno de duplicación: error en la replicación del ADN, error en el montaje de los fragmentos, accidentes de sobrecruzamiento en la recombinación.

La duplicación en un primer momento crea redundancia, por lo que a veces los genes duplicados son eliminados sin consecuencias. Pero, cuando persisten, suelen sufrir cambios. Los cambios pueden afectar a la secuencia codificadora, que permite sintetizar las proteínas, o a los elementos reguladores de otras partes del genoma. También pueden afectar al tiempo o a la pauta de expresión de los genes. Estos cambios permiten una evolución funcional en los genes duplicados, ya sea repartiendo las funciones entre ellos o incorporando elementos que permiten nuevas pautas de expresión.

En la historia de la vida animal no sólo ha habido un aumento del número de genes *Hox* y con ello un incremento de la complejidad de las pautas de desarrollo, sino que en el caso de los vertebrados ha ha-

bido una duplicación a gran escala con el consiguiente incremento de la complejidad. Los vertebrados poseen cuatro baterías de genes *Hox*, situadas en cuatro cromosomas distintos. Esta duplicación de genes a gran escala creó una gran redundancia, pero, en la evolución de los vertebrados durante varios cientos de millones de años, los genes duplicados han ido adquiriendo nuevas funciones en el desarrollo de nuevos tipos diferenciados de células.

4.3. *¿Gradualismo o evolución a saltos?*

Podemos extraer una conclusión importante: no cabe duda que la genética del desarrollo obliga a modificar el gradualismo dominante en la ortodoxia de la teoría sintética de la evolución. No puede sostenerse que el mecanismo universal de la evolución es la actuación de la selección a partir de pequeñas mutaciones por error de copia que además tenga pequeños efectos fenotípicos.

En el desarrollo de los linajes animales ha habido una expansión a saltos del instrumental genético, sea por duplicación de genes reguladores, sea por multiplicación de complejos de genes. La conclusión unánime es que algunas novedades importantes pueden aparecer de forma relativamente rápida. Otra conclusión más radical es que hubo un gran episodio de invención, la creación o duplicación de sistemas, seguido de ajustes selectivos.

A pesar de ello el mensaje de la genética del desarrollo no es totalmente unívoco y permite dos interpretaciones distintas. Los partidarios de la evolución de sistemas sacan la conclusión de que en la evolución del diseño animal ha habido un gran episodio de invención (aspecto principal y creativo) seguido de una actuación secundaria de la selección natural para hacer pequeños ajustes. Podemos encontrar una clara y expresiva formulación de esta interpretación en Sampedro:

> Se trata, en mi opinión, del conjunto de hechos más sorprendente y enigmático que la genética ha descubierto en toda su historia, porque revela que toda la deslumbrante diversidad animal de este planeta [...] no son más que ajustes menores de un meticuloso plan de diseño que la evolución inventó una sola vez, hace unos 600 millones de años (Sampedro 2000, 98).

Me parece que tal conclusión es exagerada. A partir de la genética del desarrollo es plausible otra alternativa más acorde con una visión pluralista. Se pueden señalar dos épocas distintas de grandes cambios genómicos: uno de los episodios es la temprana transición de los animales diplobásticos (esponjas, corales, medusas, hidras, ané-

monas, etc.) a los animales tripoblásticos bilaterales (moluscos, insectos, crustáceos, vertebrados, etc.), el otro gran episodio es la diversificación de los vertebrados. En el primero se pasa de dos a siete genes *Hox* distintos, mientras que en la base del linaje de los vertebrados hay fenómenos de duplicación a gran escala.

Lo más importante, sin embargo, es que la atribución de toda la creatividad de la evolución a los episodios de formación y duplicación de sistemas tiene un problema adicional: la expansión del instrumental genético para el desarrollo está claramente correlacionado con el aumento de la complejidad, pero no aparece una correlación con la diversidad de diseño (Carroll, Grenier y Weatherbe 2001, 113). En los animales bilaterales el tamaño de este instrumental genético permanece equivalente en diversos *phyla* que son morfológicamente muy distintos. Una gran diversidad ha evolucionado en los vertebrados en torno a un mismo conjunto de genes que afectan al desarrollo. Por ejemplo anfibios, aves y mamíferos comparten el mismo conjunto de 39 genes *Hox*, agrupados en cuatro complejos. La relativa simplicidad de los diseños morfológicos de algunos gusanos contrasta con la gran dotación genética que comparten con otros *phyla* de morfología más diversificada. En general hay una evolución relativamente rápida de la complejidad en la base y una radiación más lenta y progresiva de la diversidad.

Uno de los argumentos de Gould para atribuir la direccionalidad de la evolución a los canales impuestos por las constricciones estructurales se basa en su flexibilidad, de forma que la misma estructura previa pueda explicar resultados diversos, incluida la reversibilidad de las tendencias evolutivas. Este argumento tiene el mismo defecto lógico que el propio Gould denuncia con razón en el adaptacionismo desmesurado y apriorista: si es capaz de explicarlo todo, no explica concretamente nada. Antes de atribuir toda la creatividad de la evolución a las constricciones internas hay que tener en cuenta que a veces los canales son reversibles. En el caso de los equinodermos hay una regresión de la simetría bilateral, la gran invención creativa del instrumental genético, a la primitiva simetría radial; en cambio esta regresión no ocurre en sus larvas, que conservan la simetría bilateral de sus ancestros. Un indicio de que aquí hay un problema teórico es que se han propuesto diversas hipótesis explicativas de tal discrepancia. Otro ejemplo interesante de regresión son los mesozoos, organismos de complejidad intermedia entre los protozoos y metazoos: no sólo muestran una regresión a morfologías más simples, sino que el antiadaptacionista Gould sugiere una explicación funcional de talante adaptacionista: «Los mesozoos son parásitos de los metazoos y los

parásitos llegan a ser con frecuencia extremadamente simplificados en su fenotipo» (Gould 2002, 1150).

Merece atención la reflexión de Lewontin (Lewontin 2000, caps. I y III) señalando que las mutaciones drásticas han sido la herramienta básica de la genética del desarrollo, por la facilidad de ser detectadas. Esta atención prioritaria por motivos prácticos a las grandes mutaciones ha hecho olvidar que la mayoría de mutaciones de los genes que controlan el desarrollo producen efectos fenotípicos pequeños. Hay que tener en cuenta que Lewontin no es en absoluto sospechoso de adaptacionismo, ya que es coautor con Gould del clásico artículo de denuncia del adaptacionismo de la moderna síntesis; lo que ocurre es que Lewontin opina que la atención exclusiva a los grandes saltos promovidos genéticamente es una muestra del reduccionismo y determinismo genético, que tantas veces ha combatido. Una de las causas de que la alteración o incluso la inactivación de un gen tenga a veces un efecto pequeño en el organismo es la redundancia funcional. La inactivación de uno solo de los genes redundantes tiene un efecto limitado (Morange 2001, 98-99).

Los ataques al gradualismo de la teoría sintética de la evolución con frecuencia toman como punto de partida teórico a Gould y la teoría del equilibrio interrumpido para cerrar el círculo con la evolución de sistemas y la genética del desarrollo. Pero la realidad es que la historia sugerida por la genética del desarrollo no confirma la teoría del equilibrio interrumpido. El plan corporal de los animales es más antiguo de lo que se pensaba a partir de los datos paleontológicos: la genética sugiere que el registro fósil es imperfecto.

5. LA EXPLICACIÓN DEL DISEÑO

Si la aparición y duplicación de los genes que controlan el desarrollo está correlacionado con el incremento de complejidad, entonces ¿cuál es la explicación de la diversidad y de la adaptación? Creo que la explicación de la adaptación y del diseño sigue siendo la teoría darwinista de la selección natural.

La adición de sistemas integrados no explica la adaptación, porque está correlacionada con la complejidad y no con la diversidad. La duplicación de material genético posibilita nuevas soluciones al aumentar la complejidad, pero no asegura la adaptación. El diseño, la adaptación, es obra de la selección natural. La selección juega con el mismo conjunto de sistemas modulares para producir resultados morfológicos y funcionales muy distintos.

Podemos tomar como ejemplo representativo la evolución de las alas anteriores de los insectos. La genética del desarrollo permite inferir que el último antecesor común tenía dos pares de alas. Los actuales lepidópteros conservan dos pares de alas, pero en los dípteros las alas anteriores se han convertido en halterios, un pequeño apéndice para estabilizar el vuelo. En los coleópteros se han convertido en élitros, que permiten esconder las alas. Esta variación morfológica y funcional contrasta con el carácter conservador del instrumental genético para el desarrollo. Estos diversos diseños están regulados por el mismo gen *Ubx*. Los mismos genes selectores producen estructuras diversas porque afectan a genes diana distintos.

De forma semejante el gen *Tbx* controla el desarrollo de los miembros anteriores de los vertebrados, pero al afectar a distintos genes diana produce morfologías tan diversas como las alas de un ave o los miembros anteriores de los humanos.

El mensaje de la genética del desarrollo es doble. Por un lado da apoyo a la concepción de la dinámica interna de los sistemas para revisar la teoría de la evolución: en el curso de la evolución pueden aparecer saltos importantes relacionados con la complejidad. Pero no se trata de un derribo ni quizá de una deconstrucción del darwinismo, sino de añadir nuevas dimensiones a la teoría de la evolución. Si el mismo instrumental genético permite desarrollar morfologías muy diversas, la selección natural sigue siendo la explicación básica de la diversidad y de la adaptación.

Una forma sugerente de plantearlo es examinar el incremento del número de dimensiones de la teoría de la evolución, desde la teoría clásica (selección y mutación) y la teoría extendida (selección, mutación y azar) a las recientes propuestas. La cuestión es entonces si necesitamos una nueva dimensión (autoorganización) irreductible a las anteriores (Fontdevila y Moya, 2003, 50). La mejor manera de plantear estos debates no es presentarlos como opciones excluyentes. La constatación del alto grado de organización de los seres vivos tal vez lleva a un nuevo paradigma que tenga en cuenta «las conexiones entre el nivel molecular, la estructura jerárquica de los organismos y el finalismo de su conducta» (Morange 1998, 183).

El debate entre dinámica interna y selección natural es la moderna versión de la tradicional oposición entre dos polos, la forma y la función. Ya antes de Darwin existió una controversia entre forma y función, ejemplificada por el debate (1930) entre Saint-Hillaire y Cuvier. Si en la biología continental predominó la visión formalista, en la biología y en la teología natural británica predominó la visión funcional, encarnada en el argumento del diseño: la exquisita adaptación

de la forma a la función inmediata supone un diseñador sumamente inteligente y benevolente. Podemos remontarnos al siglo XVII con Robert Boyle y John Ray. Incluso el escéptico Hume, en la *Historia natural de la religión* (1757), defiende un teísmo basado en el argumento del diseño. En los *Diálogos sobre la religión natural* (1779), publicado tres años después de su muerte, Hume divide los papeles. El escéptico Filón analiza y critica el argumento del diseño, especialmente la analogía entre artefacto humano y orden en el universo, pero acaba concediendo que la causa última del orden cósmico tiene alguna remota analogía con la inteligencia humana (Hume 1992, 291).

William Paley es quizá el mejor exponente de esta tradición. Darwin en su juventud había estudiado y admirado la *Teología natural* de Paley, uno de cuyos principios es «contrivance must have had a contriver, design a designer» [la invención tiene que haber tenido un inventor, el diseño, un diseñador]. Darwin continúa la tradición funcional británica, pero realiza una doble revolución conceptual: introduce una dimensión histórica y explica el diseño a partir de la variedad aleatoria y la selección natural. El rasgo básico de la explicación darwinista es que el diseño se produce a través de un cambio no orientado. La selección produce en general adaptación y diversidad, pero no hay una meta prefijada. La perfección es siempre relativa a un ambiente.

Gould comenta acertadamente que el interés de Darwin por la función le condujo a un cierto olvido de la forma (Gould 2002, 257 ss.). Aunque Darwin recoge en principio los dos polos, unidad de tipo (forma) y condiciones de existencia (función), de hecho da prioridad a la función, porque explica la forma actual como resultado de las condiciones de vida ancestrales.

Me parece totalmente legítima la pretensión de Gould de impulsar un modelo triangular de la teoría de la evolución en el que la historia, la forma y la función tengan su debido papel. Pero con frecuencia los defensores de la dinámica interna de los sistemas caen en la mutilación simétrica de las dimensiones de la teoría de la evolución. No se limitan a postular nuevas dimensiones de la teoría, que recojan fenómenos como la conjugación, la simbiosis, la evolución y la duplicación de sistemas, sino que parecen atribuir la creatividad y el diseño sólo a la dinámica interna de los sistemas.

En general no se defiende el formalismo (o el funcionalismo) de forma literalmente exclusiva. La discrepancia suele ser sobre prioridades:

> Este terreno común [de una nueva biología] se puede expresar según dos cambios cruciales de énfasis. El primero hace hincapié en la ma-

> nera en que operan las unidades autónomas. [...] El segundo cambio hace hincapié en la manera en que se transforman las unidades autónomas. La transformación significa que la tendencia natural se hace posible gracias a la plasticidad de la estructura de la unidad. En este desplazamiento, la adaptación es una invariante (Varela 1995, 60).

En esta visión no hay un ascenso en el espacio de diseño debido a la selección. Se supone que hay un episodio creativo, la formación de la unidad autónoma. En la evolución posterior simplemente se conserva la adaptación.

Creo que la genética del desarrollo no apoya la visión que supone una evolución promovida solamente desde dentro del sistema y que en todo caso la selección sólo realiza ajustes menores. Aunque nos muestra que los mismos genes están relacionados con el desarrollo de los órganos de visión en los distintos *phyla*, sin embargo sería una idea extravagante suponer que el camino que conduce de una célula fotosensible al ojo de un águila es sólo un ajuste menor.

En algunos autores se produce una cierta contradicción entre la base teórica saltacionista inspirada en Gould y la práctica gradualista, funcionalista y adaptacionista. Podría ser una muestra el interesante libro de J. L. Arsuaga *El enigma de la esfinge*. La teoría del equilibrio interrumpido es el punto de partida para explicar la diversidad:

> Si el origen de las especies y la adaptación son procesos distintos, podemos olvidarnos de la selección natural, el mecanismo propuesto por Darwin para explicar la adaptación, y preguntarnos qué hace que surjan las especies (Arsuaga 2001, 86).

Pero, en su práctica como paleontólogo, al describir la evolución de los humanos, supone que hay una gran plasticidad de la morfología y sus presupuestos son gradualistas, funcionalistas y adaptacionistas:

> Los premolares se hacen molariformes para aumentar la superficie de masticación. [...] Además, para mejorar la eficacia biomecánica de la masticación en la dentición posterior, las placas infraorbitarias (los pómulos) se adelantan, consiguiéndose así aumentar el brazo de la potencia (*ibid.*, 326-327).

Razonamientos semejantes son usados en la descripción de la evolución de órganos importantes como la mano prensil humana. Quizá el funcionalismo, que informa su práctica paleontológica, lleva a Arsuaga, hacia el final de su libro, a defender el darwinismo como explicación de la adaptación:

> Así que, en mi opinión, puede considerarse al darwinismo como una buena teoría científica que explica el origen de las adaptaciones, en realidad el problema que más preocupaba a Darwin, por medio del mecanismo de la selección natural. En este terreno el darwinismo no tiene alternativa. El origen de las especies ya es otra cosa (*ibid.*, 384).

Excepto la última frase, es la tesis que he tratado de defender a partir de la genética del desarrollo.

6. CONCLUSIÓN

Los datos aportados por la genética del desarrollo obligan a modificar el gradualismo recibido de la teoría sintética de la evolución. Existen episodios de evolución rápida promovidos por la formación o duplicación del instrumental genético. Pero los datos que tenemos actualmente apuntan a que la duplicación del instrumental genético está correlacionado con la complejidad y no con la diversidad, la adaptación y el diseño, cuya explicación básica sigue siendo la selección natural.

Hay que considerar nuevas dimensiones de la teoría de la evolución. La teoría sintética tenía en cuenta fuerzas direccionales como la selección y otras aleatorias como la mutación y la deriva. Hay que tener en cuenta nuevos factores aleatorios, pero también otros direccionales como los canales derivados de las constricciones internas y la autoorganización.

Todos estos cambios, siendo realmente importantes, suponen una ampliación y no un derribo del darwinismo: el comprensible énfasis que cada autor ponga en una de las dimensiones de la teoría de la evolución no debe significar una negación de las otras dimensiones.

BIBLIOGRAFÍA

Arsuaga, J. L. (2001), *El enigma de la esfinge*, Círculo de Lectores, Barcelona.

Carroll, S. B., Grenier, K. J. y Weatherbe, S. D. (2001), *From DNA to Diversity*, Blackwell, Madison.

Dennett, D. (1995), *Darwin's Dangerous Idea*, Simon and Schuster, New York.

Eldredge, N. y Gould, S. J. (1972), «Punctuated Equilibria: an Alternative to Phyletic Gradualism», en T. J. M. Schopf (ed.), *Models in Paleobiology*, Freeman, Cooper and Co., San Francisco.

Fontdevila, A. y Moya, A. (2003), *Evolución. Origen, adaptación y divergencia de las especies*, Síntesis, Madrid.

Gould, S. J. (1992), *La flecha del tiempo*, Alianza, Madrid.
Gould, S. J. (2002), *The Structure of Evolutionary Theory*, Harvard University Press.
Gould, S. J. y Lewontin, R. (1979), «The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: a Critique of the Adaptationist Programme»: *Proc. R. Soc. Lond.*, *B 205*, 581-598.
Hume, D. (1992), *Writings on Religion*, ed. de A. Flew, Open Court, La Salle.
Lewontin, R. (2000), *The Triple Helix*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
Margulis, L. (1970), *Origin of Eukaryotic Cells*, Yale University Press, New Haven.
Margulis, L. (1986), *El origen de la célula*, Reverté, Barcelona.
Morange, M. (1998), *A History of Molecular Biology*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
Morange, M. (2001), *The Misunderstood Gene*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
Paley, W. (1802), *Natural Theology: or, Evidences of the Existence and Attributes of the Deity, Collected from the Appearances of Nature*, R. Faulder, London.
Sampedro, J. (2002), *Deconstruyendo a Darwin*, Grijalbo, Barcelona.
Varela, F. (1989), «Haciendo camino al andar», en W. I. Thompson (ed.), *Gaia*, Kairós, Barcelona.

TRES TEORÍAS Y TRES NIVELES EN LA GENÉTICA DEL SIGLO XX

Mario Casanueva L. y Diego Méndez G.

1. INTRODUCCIÓN

Aquí se presentan tres teorías genéticas que corresponden a tres niveles ontológicos: individual, celular y molecular. Aunque tales teorías se originaron en una sucesión temporal que se inicia con el nivel individual (genética clásica o mendeliana), continúa con el celular (genética cromosómica) y termina con el molecular (genética molecular), el artículo prescinde de las singularidades y el detalle de la historia, en favor de la brevedad. Las teorías que se presentan corresponden a estereotipos ahistóricos propios de un contexto educativo[1]. Por otra parte, en la presentación del nivel molecular no se ha avanzado más allá de los modelos de regulación genética conocidos como «operón bacteriano» (*ca.* 1960); desarrollos posteriores son tema de otro artículo de este volumen.

2. GENÉTICA MENDELIANA

Una comprensión cabal de la herencia sólo puede alcanzarse a partir de un conocimiento profundo de la reproducción. Toda genética presupone una teoría de la reproducción y no cualquier idea reproductiva es compatible con cualquier genética[2]. La genética mendeliana (en

1. Cf. Echeverría (1995, 51-66).

2. Por ejemplo, la idea aristotélica según la cual el semen (mezcla de agua y *pneuma*) aportado por el macho proporciona un principio de movimiento o causa formal (*kinesis*) en tanto que la hembra aporta la causa material en forma de sangre (*aima*), constituye una hipótesis reproductiva incompatible con toda genética moderna.

adelante GM) presupone la teoría unigamética de la fecundación: a cada individuo le corresponden *un* cigoto, *un* padre y *una* madre, de tal manera que el cigoto procede de la unión (singamia) de *un* gameto masculino producido por el padre con *un* gameto femenino producido por la madre y su desarrollo o crecimiento resulta en el individuo en cuestión.

Para plantear el problema de la transmisión transgeneracional de las características, *i.e.*, de la herencia, se requiere una descripción de los individuos en términos de sus características heredables. La GM describe a los organismos como un mosaico de ellas. Tal descripción, denominada fenotipo, constituye una imagen parcial del organismo (*v.gr.*, «semilla rugosa, tallo largo, flor en posición axial» y «semilla redonda, tallo corto, flor en la punta» son dos posibles fenotipos de dos plantas de chícharo —*Pisum*—). *Grosso modo,* en la GM, la heredabilidad de una característica se considera garantizada cuando ésta se presenta en una cepa pura. Si de una pareja O se obtiene una primera generación de descendientes D_1 y, por intercruza de D_1 (sin participación externa), se obtiene la segunda generación D_2 y, por intercruza de D_2 (también sin participación externa), se obtiene D_3, y así sucesivamente, decimos que la secuencia: $O \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow \ldots D_n$ constituye una línea de descendencia cerrada. Si todos los individuos de dicha línea poseen el mismo fenotipo, tal línea se denomina cepa pura.

En la cruza de individuos de dos cepas puras de chícharo que difieren en una sola característica heredable: semilla rugosa *vs.* semilla lisa, todos los individuos de la primera generación filial de híbridos (F1) presentan fenotipo liso y, en cuanto a este aspecto, son indistinguibles de uno de sus padres. La intercruza de los híbridos de la F1 produce tanto descendientes con fenotipo liso como descendientes con fenotipo rugoso en una proporción aproximada de 3 lisos por 1 rugoso. En la cruza de cepas puras que difieren en dos caracteres: tallo alto y semilla lisa *vs.* tallo corto y semilla rugosa, la F1 se comporta como en los monohíbridos, con fenotipo uniforme e igual al de una de las cepas parentales (todas las plantas presentan semilla lisa y tallo alto). Por su parte, la F2 presenta tanto los fenotipos parentales como dos nuevas formas recombinantes en proporciones de 9 : 3 : 3 : 1 .

LA GM explica estos resultados postulando la existencia de factores causales de las características heredables de un organismo, *i.e.*, los genes. Éstos existen por pares en las células somáticas y de mane-

ra individual en las células gaméticas. La unión de los gametos (fecundación) reestablece el número par.

Para los monohíbridos, los resultados se explican señalando que las plantas de la F1 reciben un gen que determina semillas lisas de uno de los padres y otro que determina semillas rugosas del otro padre . Los individuos de la F1 son heterocigotos , es decir, contienen dos versiones diferentes del mismo tipo de gen. El gen es dominante y enmascara la presencia del gen , que es recesivo cuando ambos están presentes; por tanto, los heterocigotos tienen semillas lisas . El polen y los óvulos de las plantas heterocigóticas de la F1 tienen sólo un gen: la mitad porta el gen y la otra mitad el gen .

De igual manera, en los dihíbridos, las plantas de la F1 reciben los genes que codifican para tallo largo y semilla lisa: de uno de los padres , y los genes que codifican para tallo corto y semilla rugosa del otro padre . Las plantas de la F1 son doblemente heterocigotas , poseen el fenotipo , el mismo que corresponde a los genes dominantes, y producen con iguales frecuencias gametos que portan una de las cuatro combinaciones admisibles de genes: , , y . El resultado de un cruce entre dos plantas F1 de mono y dihíbridos se muestra en la figura 1.

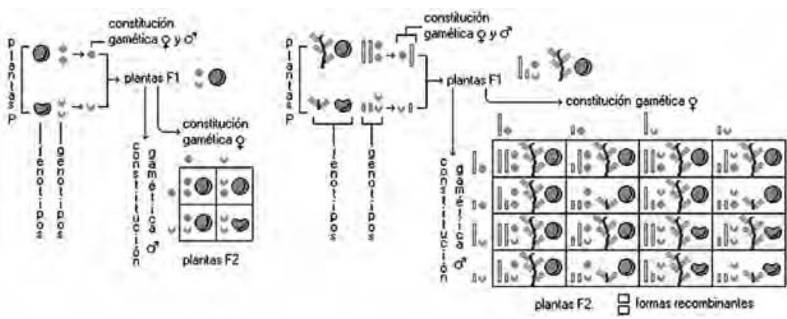


Figura 1. Cruce de monohíbridos y dihíbridos.

El aspecto esencial de GM consiste en postular que los caracteres hereditarios están (co)determinados por factores causales que se transmiten de una generación a otra a través de los gametos, contribuyendo cada padre con la mitad de los genes de los nuevos individuos.

La figura 2 muestra la estructura conceptual de la GM. Las flechas indican relaciones entre entidades (puntos). En particular, las on-

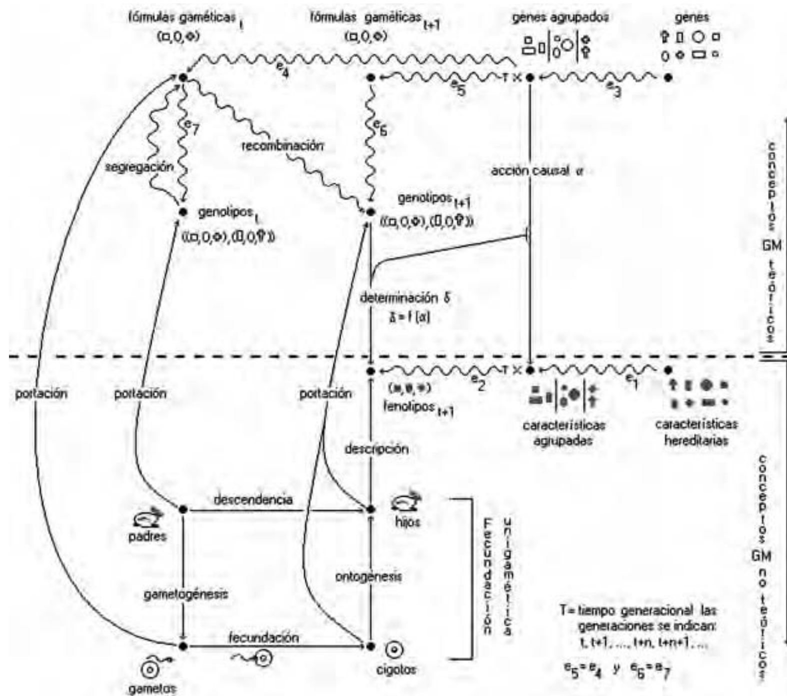


Figura 2. Estructura conceptual de GM.

duladas representan estructuraciones, es decir, algún tipo de agrupamiento de entidades para formar nuevas entidades. La línea punteada separa los conceptos previos a la GM (abajo) de los introducidos por ésta (arriba).

La parte inferior ilustra la teoría unigamética de la fecundación, indicando las relaciones entre padres, hijos, gametos y cigotos. Sobre ella se monta el espacio de los fenotipos (descripciones). Para construirlo se requieren dos estructuraciones sobre las características hereditarias. En el caso más sencillo, la primera estructuración (e_1) las agrupa por tipos y la segunda (e_2) realiza todas las combinaciones posibles tomando una (o un par) de características de cada tipo y construye fenotipos: (■,♦,+) y ((■,▮),♦,+) son dos posibles descripciones fenotípicas que corresponden a sendas e_2[3].

3. La razón de que en un fenotipo puedan estar presentes pares de características de un mismo tipo y no sólo características aisladas obedece tanto al fenómeno de la codominancia como al de la herencia multifactorial.

También los genes presentan cierta estructuración (e_3); nuevamente el caso más sencillo los agrupa por tipos disjuntos entre sí (los genes de un mismo tipo se denominan alelos). La forma de estructurar genes y características corresponde al tipo de relación causal entre ambos y varía en las distintas clases de modelos de la GM, pues no siempre *un* gen causa *una* característica. En ocasiones puede causar dos o más y también ocurre que dos o más genes causen una característica, o que un grupo de genes sea responsable de un grupo de características. La atribución de causalidad (α) nos indica de qué gen (o, en su caso, grupo de genes) provendría cada característica (o grupo de características), *si* los genes (o grupos de genes) se expresaran aisladamente. Nuevas estructuraciones (e_4-e_7) permiten formar dos nuevas entidades: 1) las fórmulas gaméticas, es decir, las posibles combinaciones de genes que pueden portar los gametos, las mismas que contienen un alelo (o un grupo de genes) de cada uno de los tipos de genes (o tipos de grupos de genes). Una posible fórmula gamética sería ⟨□,0,⊕⟩, y 2) Los genotipos, *i.e.*, las posibles combinaciones de genes que pueden portar las células somáticas. Un genotipo es considerado como un par de fórmulas gaméticas, *v.gr.*, ⟨⟨□,0,⊕⟩,⟨▯,0,✝⟩⟩.

Segregación y recombinación representan los aspectos esenciales de la «mecánica» de la GM. Dado un genotipo es posible conocer el conjunto de fórmulas gaméticas a que da lugar; simplemente los genes presentes en dicho genotipo se reestructuran en fórmulas gaméticas, *v.gr.*, el genotipo ⟨⟨□,0,⊕⟩,⟨▯,0,✝⟩⟩ da lugar a cuatro fórmulas gaméticas: ⟨□,0,⊕⟩, ⟨□,0,✝⟩, ⟨▯,0,⊕⟩ y ⟨▯,0,✝⟩. Intuitivamente pareciera que el genotipo se ha separado o disgregado en todas las fórmulas gaméticas posibles. Dados dos genotipos: gt_1 y gt_2, y sus respectivos conjuntos de fórmulas gaméticas: fgam-gt_1 y fgam-gt_2, se pueden conocer los posibles genotipos «hijos» a los que daría lugar la «cruza» de gt_1 y gt_2. Los genotipos «hijos» son pares de fórmulas gaméticas, donde uno de los miembros proviene de fgam-gt_1 y el otro de fgam-gt_2. Nuevamente se realizan todas las combinaciones posibles. Hemos (re)combinado las fórmulas gaméticas para formar nuevos genotipos.

Si *todas* las fórmulas gaméticas asociadas a un genotipo se recombinan con *todas* las fórmulas asociadas a otro, el resultado es un *conjunto* de genotipos. Si *una* fórmula se recombina con *otra*, el resultado es *un* genotipo. Si supiésemos cuáles fórmulas gaméticas portan los gametos que darán origen a un cigoto, sabríamos cuál sería exactamente el genotipo correspondiente a dicho cigoto y al individuo que deriva de éste. Pero en la GM, no hay manera de determinar la fórmula gamética que porta un gameto. Por ello, si el genotipo de un individuo no es inmediatamente evidente, debe inferirse del análi-

sis de las frecuencias relativas de las características de la descendencia obtenida mediante una cruza control (consigo mismo o con un homocigoto recesivo). Nótese que el genotipo que porta un individuo guarda una determinada relación con el que portan sus padres y con las fórmulas gaméticas portadas por los gametos de los que procede su cigoto (flechas marcadas como «portación»).

Para encontrar la manera en que el genotipo determina el fenotipo es necesario conocer: 1) cuál es, exactamente, la relación de causalidad entre genes y características(α, e_1 y e_3), 2) la forma que toman los fenotipos (e_2), y 3) en ocasiones, además, se requiere conocer el comportamiento relativo, en términos de dominancia y recesividad, entre alelos. En el modelo mendeliano clásico (proporciones 3:1, 9:3:3:1, etc.), la relación de causalidad entre genes y características es *uno a uno*; los fenotipos son mosaicos de características simples; y entre dos alelos siempre uno domina sobre el otro. Para encontrar el fenotipo, se comparan, posición a posición, las dos secuencias de genes que conforman el genotipo; en las que existe homocigosis, la posición respectiva del fenotipo es la característica que α asocia al alelo homocigoto; en las que no, la que α asocia al alelo dominante. Las formas específicas que puedan tomar los aspectos 1), 2) y 3) generan diversos tipos de modelos de la GM que presentan desviaciones de las proporciones mendelianas clásicas. A continuación presentamos algunos casos destacados, a título de ejemplo.

Respecto al modelo clásico, los modelos de codominancia preservan 1) pero cambian 2) y 3); a las posiciones homocigotas se les asocia la característica causada por el gen en cuestión. En las heterocigotas se comparan entre sí los genes alelos y se asocia la característica causada por el dominante, si lo hay, o ambos si hay codominancia. De esta manera, los fenotipos están compuestos por características aisladas, para la homocigosis y heterocigosis dominante, y pares de características para la heterocigosis con codominancia.

Si *dos o más genes* no alelos son responsables de *una característica*, la relación de causalidad depende del tipo de interacción génica y de las relaciones de dominancia y recesividad (y quizá codominancia) entre alelos. Dentro de estas posibilidades, destaca la epistasis, donde la presencia de ciertas combinaciones de genes «oculta» el efecto de otras. La idea intuitiva es la siguiente: como se ha visto, en un heterocigoto, debido a la dominancia o codominancia, la presencia del alelo recesivo puede quedar total o parcialmente enmascarada, a veces, cuando dos o más genes diferentes, que no son alelos entre sí, determinan para la misma característica, un gen o una combinación de ellos enmascara el efecto de otro u otros. Es por esto que a distintos

genotipos se les asocia el mismo fenotipo. Cuando esto ocurre, los genes «escondedores» se denominan epistáticos, y los «escondidos», hipostáticos.

La pleiotropía agrupa a aquellos modelos en los que *un gen* causa *dos o más características*. La determinación de los fenotipos ocurre como en la dominancia estricta (o la codominancia), con la salvedad de que a cada alelo (o par de alelos) se le asocia un grupo de características (o un par de grupos de características).

3. GENÉTICA CROMOSÓMICA

De acuerdo a la taxonomía actual, los seres vivos se clasifican en cinco reinos: *monera, protista, fungi, metafita* y *metazoa*. Por otra parte, la teoría celular afirma que todos los seres vivos están conformados por células y que toda célula proviene de otra. La discontinuidad más grande entre los reinos se refiere a su estructura celular. Existen dos grandes tipos celulares: procariotas (*monera*) y eucariotas (los cuatro reinos restantes). En los primeros la reproducción es asexual (por división simple) y el material genético se encuentra desnudo en el citoplasma, en forma de una molécula circular única que no posee proteínas asociadas (cromosoma bacteriano). Los procariotas carecen de organelos (estructuras membranales discretas como las mitocondrias, cloroplastos, aparato de Golgi, etc.) que sí presentan las células eucariotas. En éstas el material hereditario está en el núcleo, el cual está separado del resto de la célula por una membrana; dicho material se vincula con proteínas formando estructuras filamentosas discretas: los cromosomas eucariotes. La reproducción eucariótica puede ser asexual (mitótica) o sexual (meiótica).

Toda célula presenta un ciclo de vida que, a grandes rasgos, se compone de dos fases: 1) el crecimiento o aumento del volumen conforme la célula incorpora y asimila sustancias del entorno, y 2) la división de la célula para producir células hijas. En las células eucariotas, esta segunda fase involucra complicados procesos nucleares, en los que se puede observar a los cromosomas a través del microscopio óptico. Cuando la célula no se está dividiendo, los cromosomas se encuentran segregados en el núcleo, como una masa difusa de fibras llamada cromatina, y no pueden ser observados bajo el microscopio óptico.

Antes de la división celular, la cromatina se duplica y el proceso de división se inicia cuando ésta se condensa en cromosomas, durante algunas fases del proceso cada uno de ellos es visible en forma de dos cromátidas hermanas, unidas por una estructura llamada centró-

mero (ver figura 8). En general, en las células somáticas de eucariotas sexuados, los cromosomas se presentan en pares (condición diploide), y se denominan cromosomas homólogos a los que poseen los mismos rasgos estructurales (posición del centrómero, largo y ancho de las cromátidas, etc.). Todo cromosoma proviene de otro; así, los cromosomas de todas las células de un organismo proceden de los cromosomas de las células sexuales que dieron origen a su cigoto; de cada par de homólogos, un miembro procede del progenitor masculino y el otro del femenino. En cada especie, el número de cromosomas es constante y característico.

Existen dos tipos de división celular: 1) la mitosis, en la cual se producen dos células hijas, cromosómicamente idénticas a su progenitora, *i.e.*, con el mismo número y tipo de cromosomas, y 2) la meiosis, en la se producen cuatro células reproductoras (gametos), cada una de ellas con la mitad del número de cromosomas de la célula original (haploides). La fecundación restablece el número normal de cromosomas de la especie. La mitosis consta de cuatro fases secuenciadas: profase, metafase, anafase y telofase. A grandes rasgos, la meiosis consta de dos divisiones celulares consecutivas: en la primera los cromosomas homólogos se aparean, intercambian material genético y posteriormente se separan (ésta es la fase reductora); en la segunda, los núcleos se dividen por un proceso análogo a la mitosis. Los detalles de ambas divisiones celulares pueden verse en la figura 3.

A principios del siglo XX, la convicción de que los factores hereditarios se encontraban en el núcleo y el estudio de los procesos cromosómicos durante la meiosis permitieron postular que los cromosomas eran los portadores de los genes. La semejanza entre la disyunción de los cromosomas homólogos y la segregación de los genes mendelianos cerró la brecha entre morfología celular y herencia. El mecanismo mendeliano de segregación independiente es fácilmente explicable si se considera que los genes se ubican en cromosomas diferentes. Así nació la teoría cromosómica de la herencia (TCH).

En la TCH los cromosomas son considerados secuencias de genes, a manera de un collar de cuentas; los dos alelos presentes en una célula somática ocupan la misma posición (*locus*) en los cromosomas homólogos. A diferencia de lo postulado en la GM, dado que el número de cromosomas es menor que el número de genes, existirán tantos grupos de asociación independiente como cromosomas. Si dos genes se encuentran en el mismo cromosoma, se heredarán de manera conjunta.

Durante la primera división meiótica, las cromátidas de cromosomas homólogos pueden sobreponerse en uno o varios puntos (quiasmas). Allí se rompen y se unen a la parte correspondiente de su ho-

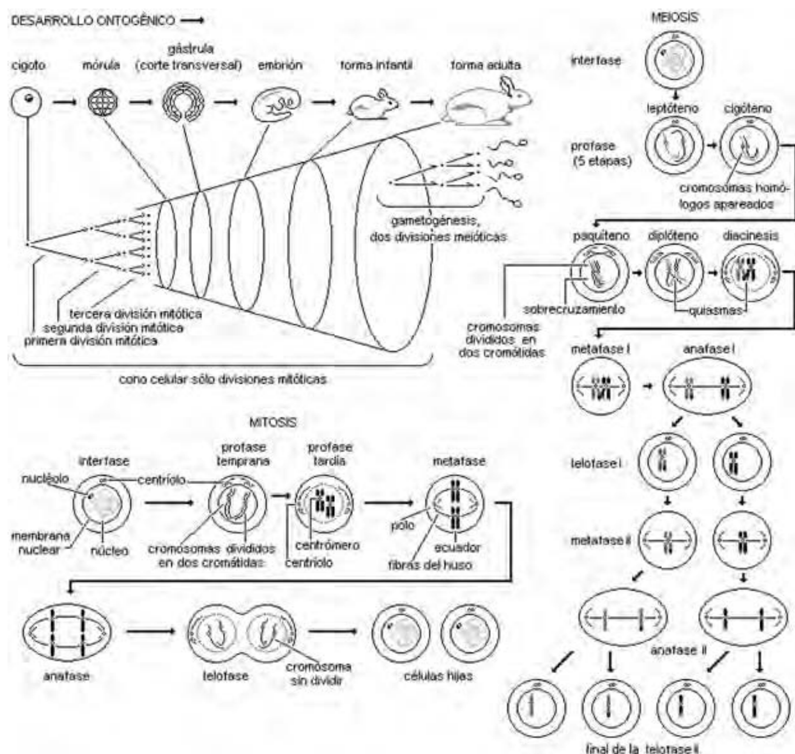


Figura 3. Desarrollo ontogénico y tipos de división celular.

mólogo, de manera que se intercambian secciones entre cromátidas, lo que modifica la secuencia de genes portada por cada una. El proceso se denomina sobrecruzamiento y da lugar a recombinaciones genéticas que incrementan la variabilidad. Tal interpretación del sobrecruzamiento permitió elaborar mapas genéticos de los cromosomas. Si dos genes se encuentran en el mismo cromosoma, dado que el sobrecruzamiento puede ocurrir en cualquier punto de éste, la probabilidad de que ambos genes se separen es proporcional a su distancia. La tasa de sobrecruzamiento puede calcularse a partir del porcentaje de descendencia que muestra recombinación de las características parentales codificadas en el mismo cromosoma. Una tasa pequeña se interpreta como una gran proximidad entre genes, e inversamente, una tasa grande como una gran distancia.

En numerosos eucariotas sexuados la determinación del sexo depende de su carga cromosómica, *v.gr.*, el humano tiene 23 pares de

cromosomas, 22 de los cuales son homólogos (autosomas), y el otro par (gonosomas) es homólogo en las mujeres pero no en los hombres. Los gonosomas se denominan *X* e *Y*, siendo el último mucho más pequeño que el primero; las hembras de todos los mamíferos presentan el par *XX*, en cambio los machos portan *XY*. Otras especies invierten esta situación y a las hembras les corresponde la heterocromosomia. Para otras especies la determinación está dada por la ausencia o presencia de un solo gonosoma no pareado, e incluso la determinación sexual puede deberse a una condición haploide o diploide, tal es el caso de las abejas.

Debido a la diferencia genética entre gonosomas, existen caracteres, no necesariamente sexuales, ligados al sexo. Puesto que en los mamíferos los machos sólo portan un cromosoma *X*, se dice que son hemicigotos para los caracteres codificados en dicho cromosoma, a diferencia de las hembras, que pueden ser tanto homocigotas como heterocigotas. A esto se debe que ciertas características, codificadas en el cromosoma *X*, ocurran con más frecuencia en los machos, pues éstos no poseen un segundo cromosoma *X*, y en consecuencia no poseen sino un alelo que se expresará necesariamente. En el humano, el daltonismo y la hemofilia afectan más al hombre que a la mujer, ya que tales caracteres están codificados en el cromosoma *X* y son recesivos en condición heterocigota[4].

Una mutación es un cambio en el material genético de una célula que se trasmite a las células hijas y constituye una fuente de variación genética. Si la mutación ocurre en la línea celular que da origen a los gametos, se trasmitirá a la descendencia. Existen dos tipos de mutaciones: las mutaciones puntuales o micro-mutaciones, y las mutaciones cromosómicas o macro-mutaciones. Las primeras no se pueden detectar a nivel citológico y consisten en la transformación de un alelo en otro nuevo, en tanto que las segundas afectan al aspecto o al número de los cromosomas y frecuentemente son causadas por anormalidades durante la meiosis. Dentro de estas últimas existen cinco clases: 1) la translocación o migración de una sección de un cromosoma a otro; 2) la duplicación o repetición de una fracción cromosómica; 3) la delección o pérdida de una parte del cromosoma; 4) la inversión, que consiste en la ruptura, giro de 180 grados y posterior reunión de una sección del cromosoma, lo cual invierte el orden ha-

4. Otro fenómeno hereditario con connotaciones sexuales es la herencia citoplasmática. En aquellos organismos en los cuales el citoplasma del cigoto procede en su totalidad del óvulo, los componentes citoplasmáticos, por ejemplo las mitocondrias, sólo se heredan por línea materna.

bitual del material genético; y 5) aberraciones cromosómicas, que consisten en la alteración del número normal de los cromosomas presentes en la célula (tanto por defecto como por exceso) e involucran desde uno hasta la totalidad de los cromosomas. Los casos de trisomía (*v.gr.*, síndrome de Down) y poliploidismo (accidentes que triplican, tetraplican, etc., el número de cromosomas haploides; fenómeno común en plantas) caen dentro de esta quinta categoría.

La figura 4 muestra la estructura conceptual de la TCH. Nuevamente, las flechas simples indican relaciones, las onduladas estructuraciones y la línea punteada separa los conceptos previos a la TCH (abajo) de los introducidos por ésta (arriba). La parte inferior del esquema muestra la fusión entre la teoría unigamética de la fecundación y la citología, montando sobre ella el espacio de los fenotipos. A los conceptos de la teoría unigamética de la fecundación se les asocian

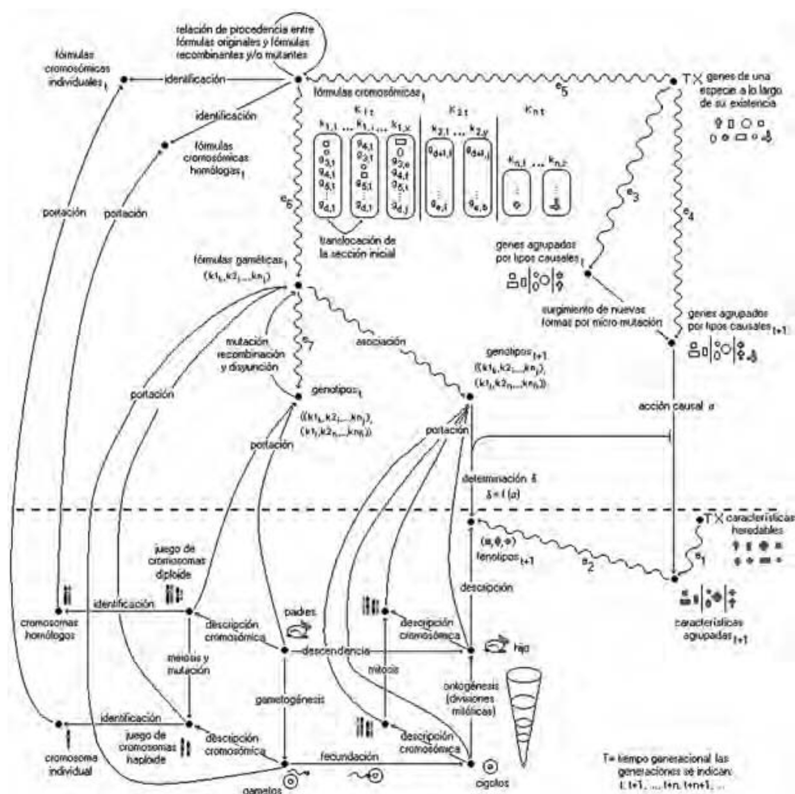


Figura 4. Estructura conceptual de la TCH.

sendas descripciones cromosómicas, que satisfacen las restricciones impuestas por los procesos de división celular. La mitosis preserva el tipo y el número de los cromosomas y la meiosis transforma los juegos diploides en haploides. A diferencia de la GM, padres, hijos, gametos y cigotos se conciben en términos de células o agrupaciones de células. El desarrollo ontogénico es conceptuado como un cono de divisiones mitóticas, donde cada célula da origen a otras dos, cromosómicamente idénticas entre sí y a su progenitora. La construcción de los fenotipos (e_1 y e_2) es idéntica a la presentada en la GM.

Como se muestra en la parte superior, existen dos formas de estructurar los genes. La primera (e_3 y e_4), igual a la presentada en la GM, corresponde a las formas de relación causal entre genes y características y agrupa a los genes de una generación dada en diferentes tipos causales. Las mutaciones puntuales surgen en un momento histórico particular y ello da lugar a que los grupos de genes considerados puedan presentar variaciones temporales, si bien entre dos generaciones sucesivas existe una gran intersección. La segunda forma de estructurar los genes (e_5) los agrupa según su disposición en los cromosomas, lo que da lugar a tantos grupos de fórmulas cromosómicas como tipos de cromosomas existan en una especie. Una fórmula cromosómica es la secuencia de genes presentes en un cromosoma. A cada alelo le corresponde una determinada posición o *locus*.

Nuevas estructuraciones (e_6 y e_7) permiten obtener las fórmulas gaméticas y los genotipos. A diferencia de la GM, las fórmulas gaméticas de la TCH contienen fórmulas cromosómicas (una de cada tipo), y un genotipo se concibe como un par de fórmulas gaméticas interpretadas de esta nueva manera. La procedencia de las fórmulas cromosómicas recombinantes y/o mutantes se indica mediante una flecha cuyo origen y destino son las fórmulas cromosómicas (*v.gr.*, la fórmula $k_{1,i}$ se obtiene invirtiendo la secuencia inicial de alelos de la fórmula $k_{1,1}$). Dentro de las fórmulas cromosómicas pueden identificarse tanto las de cromosomas homólogos como las de cromosomas individuales. Al igual que en la GM, dado un genotipo, es posible conocer el conjunto de fórmulas gaméticas a que da lugar, simplemente las fórmulas cromosómicas presentes en dicho genotipo se recombinan para obtener diferentes fórmulas gaméticas (considerando los procesos de macromutación y sobrecruzamiento). El apareamiento de una fórmula gamética procedente del genotipo «padre» con otra procedente del genotipo «madre» da lugar a un genotipo «hijo». De manera análoga a la GM, la asociación entre las distintas fórmulas cromosómicas homólogas ocurre de manera independiente entre sí. En lo que respecta a la determinación de las fórmulas gaméticas, la TCH re-

presenta un adelanto respecto a la GM: debido a la determinación cromosómica del sexo, si conocemos el sexo de un individuo, podemos inferir qué gonosomas portaban los gametos que dieron origen al cigoto del que procede.

Las flechas «portación» indican los elementos genéticos correspondientes a las distintas entidades biológicas (genotipos para individuos, cigotos y juegos de cromosomas diploides; fórmulas gaméticas para gametos y juegos de cromosomas haploides; y fórmulas cromosómicas para cromosomas). La relación de determinación genotipo-fenotipo es idéntica a la de la GM.

4. GENÉTICA MOLECULAR

La búsqueda de la naturaleza material de los componentes celulares, y en particular de los genes, condujo a elucidar las propiedades de la vida (crecimiento, multiplicación, evolución, etc.) en términos de las moléculas que los componen, *i.e.,* las biomoléculas. Debe señalarse que el enfoque molecular no se restringe a la genética sino que abarca y unifica un gran número de campos en biología (fisiología, taxonomía, evolución, bioquímica, etc.).

Las principales biomoléculas son unidades modulares (polímeros), conglomerados armados por uniones covalentes (en las que se comparten electrones) de moléculas más simples (monómeros), *v.gr.,* la celulosa es una cadena de miles de unidades de glucosa —un azúcar simple[5].

Las biomoléculas presentan diferentes niveles de complejidad arquitectónica. La secuencia lineal de monómeros constituye su estructura primaria. Las configuraciones locales, la secundaria, y la configuración global, la terciaria. Finalmente la estructura cuaternaria es la conjunción de varias macromoléculas, cada una con determinada estructura terciaria (ver figura 5). Los tipos más destacados de compuestos en la maquinaria celular son carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Los carbohidratos, sacáridos o azúcares son compuestos cuya fórmula condensada es $(CH_2O)_n$, con $n \geq 3$. Su descomposición metabólica constituye la fuente principal de energía de la célula. Existen tanto monosacáridos como polisacáridos. Además de servir como re-

5. La confección modular es un dispositivo ahorrador de energía en la economía celular, pues la secuenciación de compuestos simples es menos costosa y más ágil que la síntesis de grandes configuraciones a partir de átomos sueltos.

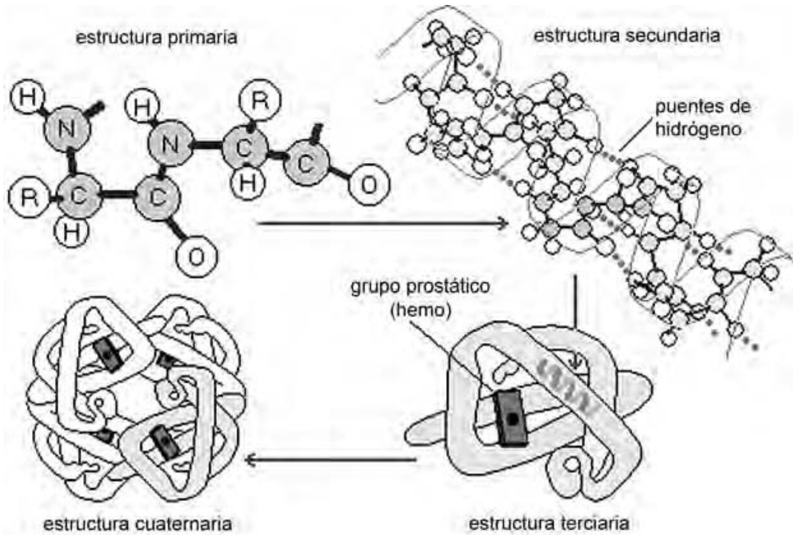


Figura 5. Ejemplo de estructuras arquitectónicas de las proteínas.

servas energéticas, los polisacáridos cumplen funciones de soporte (paredes celulares) y participan en los sistemas de comunicación intercelular, pues marcan sitios activos en la membrana que pueden ser reconocidos.

Los lípidos son moléculas pequeñas que se asocian mediante fuerzas no covalentes, dando lugar a películas o membranas, estructuras que separan a la célula del medio y generan compartimentos intracelulares (organelos). La estructura básica de los lípidos de membrana consta de una «cabeza» hidrofílica («amiga» del agua) y dos colas hidrofóbicas («temerosas» del agua) formadas por hidrocarburos largos. En presencia de agua, los lípidos forman micelas que presentan dos capas, de modo que las cabezas interactúan con las moléculas de agua y las colas se atraen entre sí mediante débiles fuerzas electrostáticas (ver figura 7).

Las proteínas son cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos (una secuencia de aminoácidos es un polipéptido). La estructura secundaria de los polipéptidos es usualmente una hélice; también pueden formarse láminas, donde los dobleces locales confeccionan biombos sobrepuestos. Tanto hélices como láminas pueden doblarse sobre sí mismas y así conformar un complejo tridimensional globular que posee cierto juego entre los monómeros, por lo que puede adoptar diversas configuraciones. Semejantes trasmutaciones tie-

nen efectos bioquímicos importantes[6]. Desde un punto de vista funcional, las proteínas son las biomoléculas más versátiles: transportan materiales de una región a otra, constituyen buena parte del soporte estructural de la célula y cambian la velocidad con que ocurren las reacciones metabólicas (en este último caso se denominan enzimas) sin participar en ellas (se conservan al finalizar el proceso). La agilidad y coordinación de las interacciones moleculares dentro de la célula no sería posible sin las enzimas. Toda reacción metabólica está mediada por una enzima y la(s) sustancia(s) sobre la(s) cual(es) actúa(n) recibe(n) el nombre de sustrato(s). Las enzimas presentan una región o sitio activo donde el o los sustratos pueden acoplarse. Se trata de una hendidura u otra peculiaridad de su forma tridimensional. La topografía de tales regiones es compleja y particular de cada enzima y en buena medida, por esto, la relación que guarda con el o los sustratos es muy específica.

Hay dos tipos de ácidos nucleicos: el ribonucleico (ARN) y el desoxirribonucleico (ADN). El segundo es el almacén de la información genética y su duplicación posibilita el flujo informativo a lo largo del linaje celular; el ARN participa en algunas estructuras celulares y traduce el contenido del ADN para la síntesis de proteínas. La diferencia química entre ambos está en la constitución de sus monómeros, pues si bien la unidad fundamental está conformada por tres subcomponentes (una base heterocíclica, una azúcar y un fosfato), en el ARN la azúcar es ribosa, mientras en el ADN es 2'desoxirribosa. Los monómeros también reciben el nombre de nucleótidos[7]. Cabe aclarar que las bases heterocíclicas derivan de la purina o de la pirimidina. Las cinco bases más comunes son la adenina, la gua-

6. Por otra parte, muchas proteínas globulares contienen una subestructura llamada grupo prostático; se trata de pequeñas moléculas incrustadas en el armazón del polipéptido que le permiten el cumplimiento de funciones específicas, por ejemplo, el transporte de iones particulares. Tal es el caso del grupo hemo en la mioglobina, que sirve para transportar oxígeno (ver figura 5).

7. Dicho sea de paso, los nucleótidos también juegan un papel destacado en la bioenergética celular, especialmente la adenosina trifosfato (ATP): adenina ligada a ribosa y esta última a una secuencia de tres fosfatos. La energía que se libera en la descomposición de azúcares se almacena en moléculas de ATP; luego, la ruptura de enlaces fosfato-fosfato libera una cuota de energía que es aprovechada en otra región, para otro proceso celular.

nina, la citosina, la timina y el uracilo. Las primeras dos son purínicas y las tres restantes pirimidínicas. Otra diferencia importante entre ADN y ARN es que en el último, el uracilo, que no está presente en el primero, sustituye a la timina. Los nucleótidos se encadenan en polímeros mediante enlaces fosfato-azúcar. La figura 6 muestra la estructura molecular del ADN.

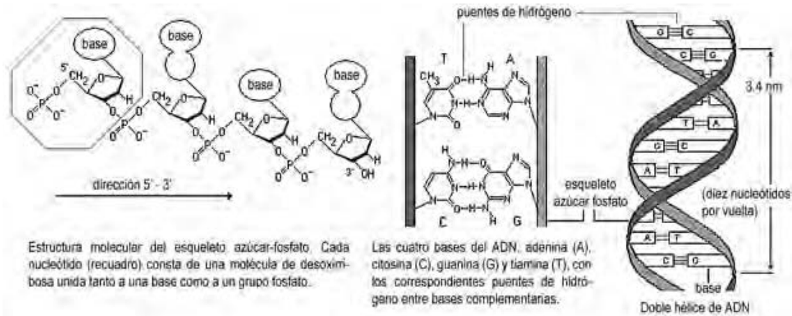


Figura 6. Estructura molecular del ADN.

El famoso modelo de la doble hélice involucra las estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria del ADN, pues plantea: 1) que la molécula consta de dos cadenas de nucleótidos; 2) que hay una complementariedad estricta entre las bases de una y otra banda: adenina con timina y guanina con citosina (lo que impone restricciones a la estructura primaria de las bandas); 3) que la molécula es helicoidal; 4) que las bases recorren el eje central del helicoide y los fosfatos y azúcares surcan su exterior, envolviendo a las bases.

Por lo regular, el ARN existe como una banda simple de nucleótidos que puede adoptar gran variedad de estructuras secundarias y terciarias. Si el polímero contiene distintas regiones donde las bases de una son complementarias a las de otra, la molécula puede doblarse sobre sí, de modo que estas regiones forman estructuras dobles locales. Esto sucede de manera muy compleja con el ARN de transferencia (tARN) y el ARN ribosomal (rARN), ambos importantes en la síntesis de proteínas. Por su parte, el ARN mensajero (mARN), cuya función es pasar la información contenida en el ADN al lugar donde se traducirá en proteína, suele ser una cadena corta, sin dobleces locales.

Membranas, cromosomas y otras entidades celulares son estructuraciones de biomoléculas. Por ejemplo, la pared de células vegetales está constituida por varias capas de celulosa que forman una pila de biombos sobrepuestos, lo cual resulta en una estructura muy rígi-

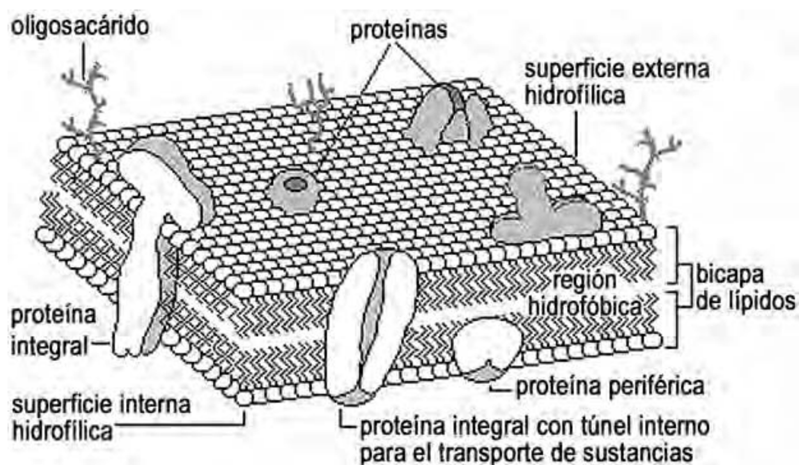


Figura 7. Membrana celular.

da. Semejante urdimbre está impregnada además de otros polisacáridos y de proteínas.

La membrana celular es una bicapa de lípidos con una gran variedad de proteínas imbuidas en ella, como se muestra en la figura 7. Ambas caras, la externa, que mira al medio extracelular y la interna, hacia el citoplasma, son diferentes, tanto en lo que respecta a la fracción lípida como a la proteica. La membrana es una barrera semipermeable que permite el transporte selectivo de materiales a través de ella. Ciertos organelos de eucariotas son estructuras membranales complejas, entre ellos la mitocondria, el cloroplasto (en células vegetales), el retículo endoplásmico, el aparato de Golgi, las vacuolas, los lisosomas y los peroxisomas.

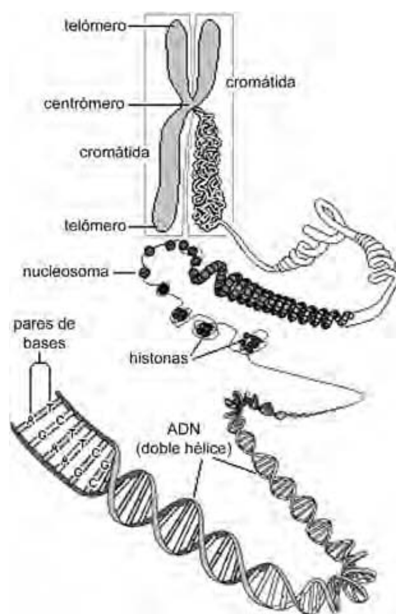


Figura 8. Super-enrollamiento del ADN en el cromosoma.

En una típica célula eucariota que no está sufriendo mitosis, los cromosomas se encuentran segregados en el núcleo, como una masa difusa de fibras de ADN y complejos proteicos llamados histonas. Estas fibras se denominan cromatina y, vistas bajo el microscopio electrónico, se asemejan a collares de abalorios; cada cuenta se denomina nucleosoma y corresponde a un tramo de ADN, enredado en un complejo de histonas (ver figura 8). La cromatina puede enrollarse sobre sí misma, para dar lugar a cuerdas compactas de cúmulos de nucleosomas; seguramente este proceso ocurre cuando los cromosomas se ven al microscopio óptico como cuerpos discretos.

Los ribosomas constituyen otro complejo proteico-nucleico: se componen de dos subunidades acopladas, una más pequeña que la otra. La estructura de dichas subunidades consiste en una matriz de proteínas cuyos intersticios están ocupados por el rARN que serpentea por todo el molde proteico.

El metabolismo es el conjunto de reacciones intracelulares acopladas que permiten a la célula funcionar como una máquina químico-termodinámica. Presenta dos grandes facetas: la degradación de compuestos complejos a más simples —el catabolismo— y la síntesis de estructuras complejas a partir de materiales sencillos —el anabolismo—. Las rutas catabólicas van encaminadas a la producción de energía útil, la cual se emplea en las rutas anabólicas. Es menester señalar que estas últimas no son simples caminos inversos de las primeras: si bien los productos finales de unas suelen ser los iniciales de las otras, los pasos intermedios no son los mismos. Con frecuencia, los compartimentos celulares donde ocurre uno y otro proceso también son distintos.

La figura 9 muestra una célula con sus organelos y las biomoléculas más destacadas que los componen, así como las principales rutas metabólicas que se dan en su interior.

La continuidad de la vida se sustenta en la capacidad de los organismos para producir nuevas células. En esencia, esta propiedad deriva de la capacidad de duplicación o replicación del ADN, que, a grandes rasgos, consta de los siguientes pasos: 1) se desenrolla la doble hélice, lo cual implica la ruptura de los puentes de hidrógeno entre las bases nucleótidas, formándose dos tiras separadas de polinucleótidos; 2) se insertan desoxirribonucleótidos complementarios (A con T y G con C) en las cadenas expuestas, y 3) se polimerizan dichos nucleótidos formando las tiras complementarias. En consecuencia, de una molécula «madre» surgen dos moléculas «hijas», pero cada una conserva una cadena «materna»: éste es el llamado modelo semiconservativo de la replicación. La precisión de la copia —esto es, la au-

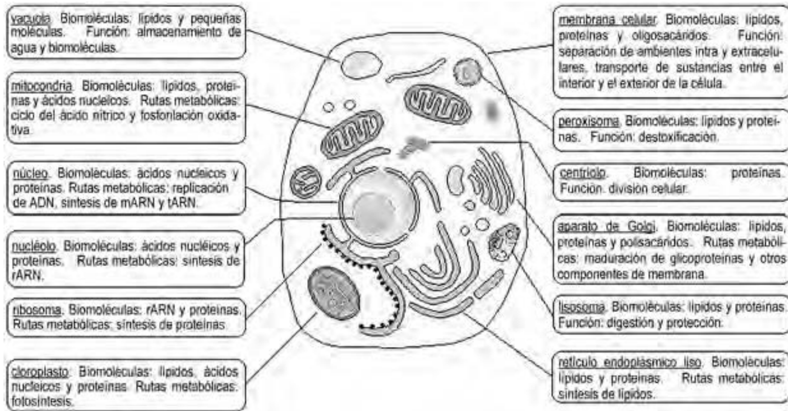


Figura 9. Principales organelos celulares.

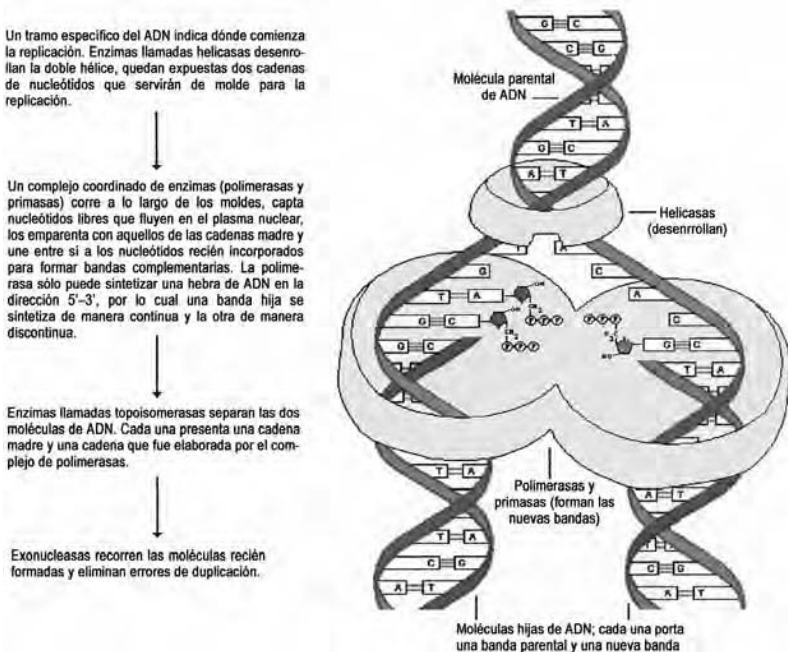
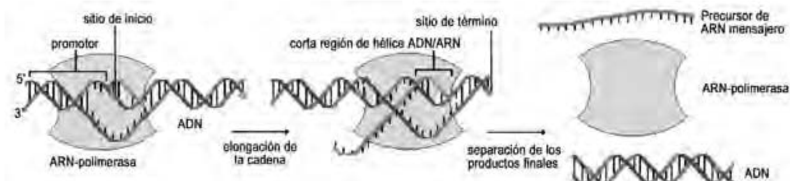


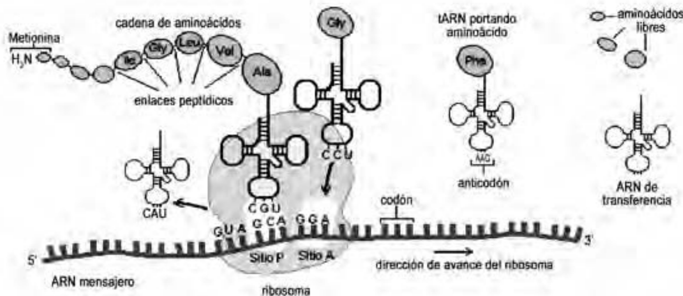
Figura 10. Replicación del ADN.

sencia de errores en la replicación— depende de la enzima polimerizadora, que actúa sólo allí donde los nucleótidos están apareados con sus bases complementarias. La figura 10 resume el proceso de replicación.

La replicación suele ser muy exacta; sin embargo, en ocasiones tienen lugar errores durante el proceso (ya aleatorios, ya debidos a la acción de agentes mutágenos: radiación ultravioleta o ciertas sustancias químicas). Dichas alteraciones permanecen en el ADN de las siguientes generaciones celulares. Existen tres tipos principales de cambios puntuales (micromutaciones): el reemplazo de una base por otra, la delección o pérdida y la inserción de un nucleótido en alguna de las cadenas de la doble hélice. Tales eventos trastocan la secuencia de bases y, en consecuencia, alteran la secuencia de aminoácidos de las proteínas que son producto de la traducción del ADN.



(1) La enzima ARN-polimerasa se une a un sitio promotor en la molécula de ADN. Se desenrolla la doble hélice. (2) La ARN-polimerasa recorre una de las tiras expuestas de ADN, aquella cuya secuencia de bases codifica la proteína que se va a producir. A lo largo de su trayecto, la enzima capta ribonucleótidos del plasma nuclear, los emparenta con la tira molde de ADN y los polimeriza para formar una cadena de mARN. (3) Una secuencia específica de bases en la cadena del ADN impide la función de la ARN-polimerasa; finaliza la síntesis. (4) La molécula de mARN recién formada se separa de la cadena de ADN. En eucariotas ocurre un proceso de edición que añade o suprime bases al mARN.



(5) En eucariotas, el mARN migra del núcleo al retículo endoplásmico rugoso, donde se acopla a un ribosoma. En procariotas, al formarse el mARN, a éste se le pega un ribosoma. La síntesis de proteínas ocurre en los ribosomas. En ellos existen dos sitios (P y A), cada uno de los cuales acomoda una tercia de bases del mARN. Cada tercia se denomina codón. (6) El codón inicial de mARN (siempre AUG) entra al sitio P del ribosoma. A este sitio llega también un tARN ligado al aminoácido metionina. Todo tARN presenta una estructura llamada anticodón que consta de tres bases. Éstas determinan el aminoácido ligado al tARN en cuestión. El anticodón del tARN-metionina es UAC, secuencia complementaria a AUG, el codón inicial del mARN. En el sitio P se alinean codón y anticodón. (7) El sitio A está ocupado por el codón del mARN que sigue a AUG. A este lugar llega un tARN con su respectivo aminoácido (llámese AaX), su anticodón es complementario al codón del mARN. La enzima peptiditransferasa forma un enlace peptídico entre la metionina y AaX, a la vez que rompe la unión entre la metionina y su tARN. Así, el sitio P queda con un tARN libre y el sitio A con el complejo tARN-AaX-metionina. (8) El tARN que portaba la metionina se libera del ribosoma, así queda libre el sitio P. El ribosoma se desplaza tres bases a lo largo del mARN con lo que el complejo tARN-AaX-metionina se traslada al sitio P. En el sitio A queda el siguiente codón del mARN listo para recibir su correspondiente tARN con su respectivo aminoácido. De ahí en adelante, los eventos son similares al paso anterior. La síntesis continúa de esta forma hasta que se agota la secuencia de bases del mARN.

Figura 11. Síntesis de proteínas.

Los procesos que intervienen en la síntesis de proteínas son dos: la transcripción o síntesis de mARN a partir de ADN, y la traducción, donde el mARN coordina el ensamblado del polipéptido. Aquí también participan ribosomas, que sirven de sitios para el armado del polipéptido, así como tARN, cuyas moléculas transportan los aminoácidos aislados al ribosoma. La figura 11 describe el proceso de síntesis.

La ontogénesis y diferenciación celular dependen en última instancia del tipo y cantidad de proteínas que se expresen, lo cual, a su vez, depende de los sistemas de regulación celulares. Tales sistemas son sensibles a la concentración de diversos metabolitos en el medio intracelular. El primer modelo de regulación a nivel molecular fue el del operón de la lactosa (en los procariotas). En él la activación de la maquinaria de síntesis de una proteína específica depende de la presencia de un cierto sustrato (lactosa). La figura 12 muestra la forma general de este tipo de regulación.

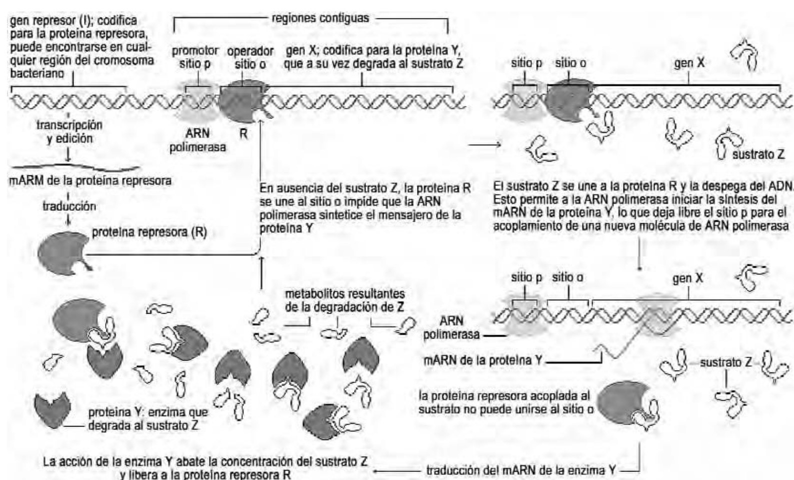


Figura 12. Modelo del operón.

Veamos ahora cómo se integran los niveles individual, celular y molecular. Tanto las rutas metabólicas como los organelos son constelaciones moleculares. Ahora bien, hay ciertas rutas metabólicas que operan sólo en ciertos estados del ciclo de vida de la célula; igualmente, algunos organelos desaparecen en determinados momentos de dicho ciclo. Por ejemplo, la membrana nuclear (en eucariotas, por supuesto) se desvanece durante buena parte de la mitosis (profase, me-

tafase y anafase). En consecuencia, cada estado del ciclo de vida es una configuración particular de rutas metabólicas y organelos que corresponde a un estado molecular específico. Estas diferencias de composición dan también cuenta de la diferenciación celular.

La figura 13 muestra la integración de la genética molecular con los niveles ontológicos individual y celular. μ, κ y π son funciones que indican que la capacidad de multiplicación en un nivel ontológico depende de dicha capacidad en el nivel inferior. μ destaca que la multiplicación de los individuos depende de las divisiones celulares, las cuales requieren de la división cromosómica (κ), que a su vez se fundamenta en la replicación genómica (π). De esta forma, como ya se ha señalado, la continuidad de la vida depende, en última instancia, de la replicación del ADN.

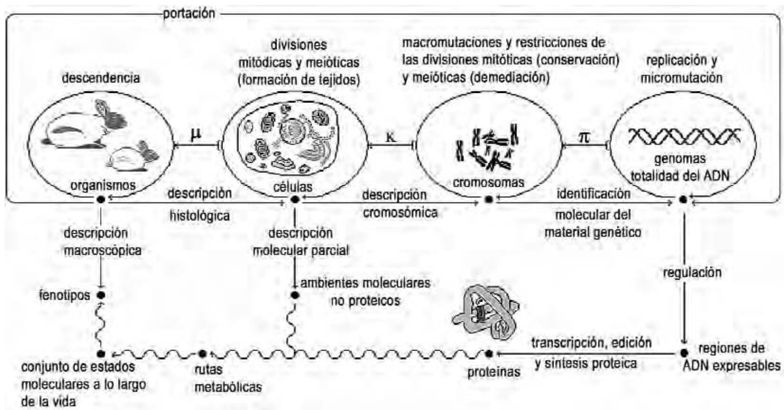


Figura 13. Esquema conceptual de la genética molecular que muestra su integración con niveles ontológicos superiores.

La figura 14 ilustra más detalladamente los conceptos representados en la 13. De arriba abajo se indica el ciclo de vida, así como la ontogenia; de izquierda a derecha se encuentran los niveles individual, celular y molecular. Por cuestiones de espacio, sólo se han privilegiado algunas fases. El diagrama destaca que toda etapa celular es en realidad un conjunto particular de estructuraciones de biomoléculas.

La genética molecular pone de realce una relación entre dos flujos. El primero de ellos consta de sucesiones de estados moleculares o subcelulares. El segundo, si bien es igualmente una serie de configuraciones moleculares y por tanto está contenido en el primero, se distingue por ser también un flujo de información con dos modalida-

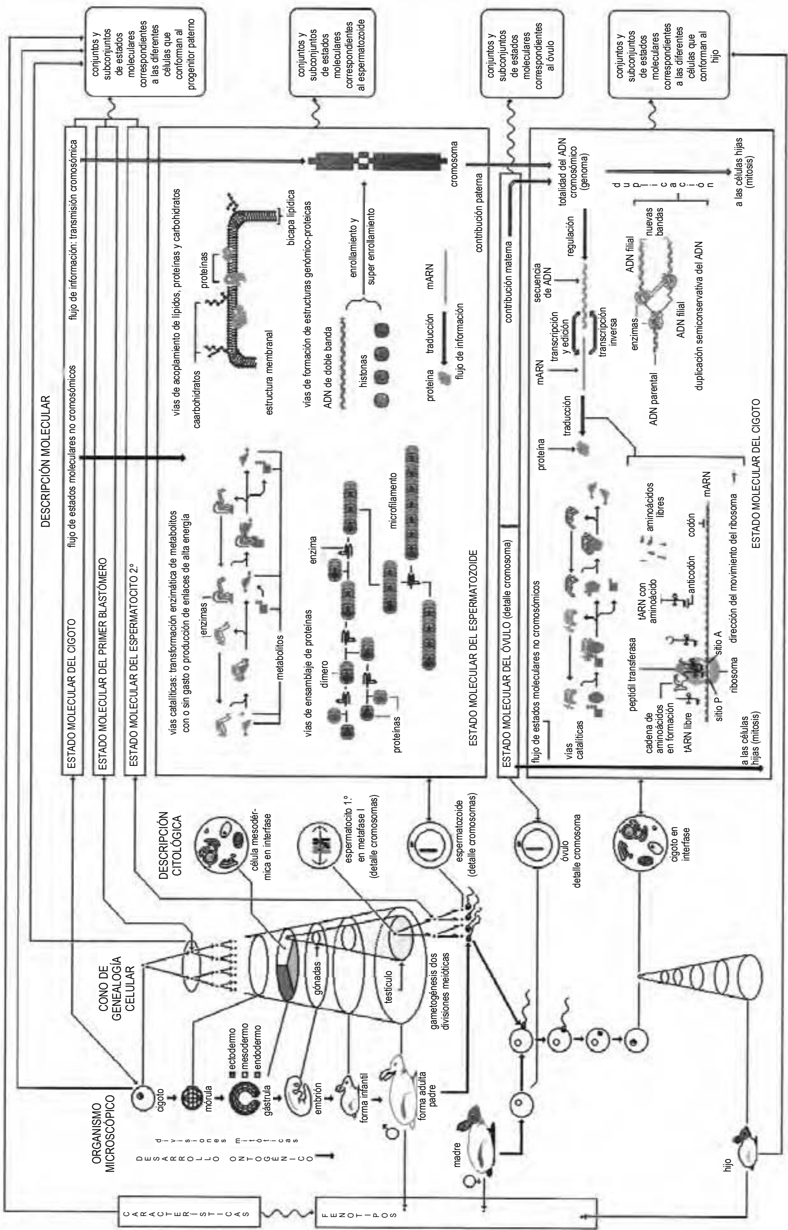


Figura 14. Esquema conceptual de la genética molecular que muestra su integración con niveles ontológicos superiores. Detalle.

des temporales. Por una parte, fluye de una generación a otra, pues es una transmisión cromosómica intergeneracional. Por otra parte, presenta una vertiente intrageneracional, pues de ese genoma (la totalidad del ADN cromosómico) sólo serán «leídas» ciertas regiones, según opere el mecanismo de regulación. Esto último depende del tipo de célula, del estado particular en que se encuentra y del ambiente extracelular. Dichas regiones de ADN son transcritas en moléculas de ARN, que, después de ser «editadas», serán «traducidas» a secuencias de aminoácidos (*i.e.*, proteínas). El nexo entre ambos flujos está dado por el mecanismo de traducción; uno de sus polos, las secuencias de aminoácidos, opera en el primer flujo, pues el tránsito entre estados moleculares es fundamentalmente consecuencia de las múltiples acciones de las proteínas. El otro polo de la traducción, las secuencias de ribonucleótidos, opera en el segundo flujo, pues depende de secuencias del ADN. De esta forma, características y fenotipos pueden interpretarse en términos de estados moleculares. Nótese que en el estado molecular del espermatozoide sólo se representa una fracción del flujo de información cuyos extremos son genoma y proteína ello es así pues aquí hemos representado al cromosoma cerrado (es decir, no hay ni regulación ni transcripción); sin embargo, existen mARNs previamente sintetizados.

La descripción molecular que aparece en el diagrama hace énfasis en la línea paterna. La flecha indicativa de la transmisión cromosómica recorre, sin interrupciones, todos los estados representados, desde cigoto hasta cigoto. En lo tocante a los estados moleculares no cromosómicos, la flecha que los comunica se interrumpe al llegar al óvulo, pues éste se ha generado en otro organismo y, en consecuencia, es otra la serie de eventos moleculares que derivaron en él. Pero cabe destacar que hay un nexo entre el óvulo y el cigoto, dado que los procesos citoplasmáticos del primero se continúan en el segundo, o bien son antecedentes de los que ocurren en el segundo.

5. UNA BREVE DIGRESIÓN ÉTICA

En tanto estructuras conceptuales, las teorías no conllevan ninguna dimensión ética, son aplicables o no aplicables o, si acaso, verdaderas o falsas, pero no buenas o malas. Estos últimos juicios se reservan para las acciones. En lo que aquí respecta, la ética atañe a las tecnologías que se derivan del conocimiento y a los procedimientos para la obtención del mismo. El compromiso ético exige sopesar riesgos y beneficios, pero cómo se sopesa y cómo se decide son también aspectos morales.

Los instrumentos y métodos empíricos desarrollados por la genética permiten seleccionar, modificar y, actualmente, diseñar organismos. Ligada a métodos puramente selectivos, la genética temprana sirvió para generar terapias clínicas sobre numerosas enfermedades (distrofia muscular, fibrosis cística, fenilcetonuria, etc.), pero paralelamente abrió el debate en torno a la eugenesia: *i.e.*, el mejoramiento de la especie humana. Si rasgos como la inteligencia o el comportamiento asesino son hereditarios, es deseable que los inteligentes tengan más hijos que los asesinos. Estos casos (pretendidamente justificados en un discurso genético) resultaron tristemente célebres y terminaron en programas de esterilización para ciertos grupos étnicos o para individuos[8].

El problema de las tecnologías genéticas es el de la relación entre ciencia y sociedad y sus mutuos impactos. La responsabilidad de las acciones recae sobre ambos. Muy actuales son los debates en torno a ciertas técnicas de selección y modificación de individuos que permiten la clonación o la producción de organismos transgénicos. Brevemente, la primera consiste en la obtención de individuos con el mismo genoma, lo que se logra sustituyendo el núcleo del óvulo (haploide) por un núcleo somático (diploide). El resultado es un individuo genéticamente idéntico al donador del núcleo. La transgenia se fundamenta en la universalidad del código genético (los diferentes codones se traducen de idéntica manera en prácticamente la totalidad de los organismos): se insertan secuencias genéticas de la especie A en el genoma de la especie B, dando lugar a organismos o células de la especie B que producen proteínas de A. Beneficios palpables de la transgenia han sido la producción bacteriana de insulina e interferón humanos; sin embargo, la introducción de transgénicos en ecosistemas naturales puede crear efectos no predecibles. Tanto la clonación como la transgenia impactan en la biodiversidad. Quienes abogan por estas técnicas sostienen que ambas pueden incrementar beneficiosa-

8. El grado en que el genoma determina los comportamientos individuales es aún materia de especulación. No obstante, es con fundamento en el determinismo genético como se han levantado programas sociales seleccionistas. El determinismo extremo es una visión simplista de la relación causal entre genotipo y fenotipo, pues relega a segundo plano las modificaciones que el ambiente puede generar en la expresión y estructura del material genético. Conviene mantener un sano escepticismo ante argumentos deterministas relativos a características humanas como la inteligencia, la sensibilidad artística, el temperamento, etc. Son atributos que no se pueden definir con la misma precisión que un rasgo físico; en consecuencia, tampoco se puede plantear la cuestión de si son heredables o no, en los mismos términos. Es difícil creer que el medio social no influya de manera importante en la inteligencia o el comportamiento, o que se pueda demarcar claramente el componente orgánico del ambiental.

mente la diversidad biótica. Por ejemplo, mediante la clonación es posible recuperar especies extinguidas. Sin embargo, los detractores sostienen que, a la larga, las consecuencias serán negativas, *v.gr.*, la introducción de cultivos transgénicos puede incrementar la diversidad genética de especies asociadas y, por efectos de la comunicación genética, este incremento puede dar origen a supermalezas. El problema moral en ciernes estriba en la siguiente pregunta: ¿es ético procurar o no procurar la biodiversidad, y bajo qué circunstancias?

Todo esto compete a la ética científica, la cual no radica en un simple compromiso con «la verdad», sino con todos aquellos que serán directamente afectados. El punto es: ¿a quién compete tomar la decisión sobre llevar a cabo o no una acción? Afectar a determinados individuos significa afectar a la sociedad, en consecuencia, es ésta en su conjunto la que debe tomar la decisión. Quienes deciden deben estar informados, de ahí que la labor ética del científico sea informar y generar opinión, y la labor ética de la sociedad, participar de una cultura científica.

6. CONCLUSIONES

En biología existen dos tipos de teorías, ambos presentes en este trabajo. El primero incluye aquellas que postulan la existencia de entidades teóricas (introducidas por la teoría y cuyo uso presupone la validez de sus leyes), que de existir y comportarse como la teoría señala, darían cuenta del comportamiento observado. Tal es el caso de la GM y el TCH con conceptos como gen, fórmula gamética y fórmula cromosómica, que fueron postulados para dar cuenta de la transmisión de las características a lo largo de las generaciones. El segundo tipo incluye aquellas teorías que no introducen conceptos propios, pero que relacionan conceptos previos de una manera no vislumbrada hasta entonces. Tal es el caso de la teoría unigamética de la fecundación y de la genética molecular. La primera relaciona los conceptos de espermatozoide, óvulo, fecundación, crecimiento y descendencia, que ya existían antes de ella. Por su parte, la genética molecular toma conceptos originalmente introducidos por la bioquímica y citología molecular y los relaciona bajo la afirmación de que a cada estado celular o subcelular le corresponde un determinado estado molecular. Así, el desarrollo de la genética ha transitado de las teorías del primer tipo a una gran teoría del segundo tipo.

LA GM se construye sobre la teoría unigamética de la fecundación, la cual se encuentra planteada a nivel de entidades biológicas in-

dividuales (sin importar su conformación celular o molecular). La TCH se erige sobre una teoría de la propagación celular que involucra estructuras subcelulares, a las cuales otorga una importancia fundamental. La genética molecular trata de las relaciones entre biomoléculas y estados moleculares. De esta manera, cada una se levanta sobre un entarimado distinto, y puede verse que el refinamiento de los mismos ha ido acompañado de un refinamiento de la estructura conceptual que da cuenta de ellos. Como ejemplo, cabe destacar los cambios sufridos por el concepto de tiempo, que de un mero contador de generaciones pasó a ser una medida de diferenciación celular y ontogénica. Por su parte, el concepto de fenotipo pasó de ser una constelación de macrocaracterísticas heredables a ser una constelación de estados moleculares de conjuntos de células. También cabe destacar que estos refinamientos han incrementado el ámbito de aplicación de las teorías, el paso de la GM a la TCH posibilitó el estudio de las bacterias, y el paso de la TCH a la genética molecular posibilitó el estudio de los virus.

En la GM, los genes se postulan como factores causales contenidos en los gametos. La TCH los ubica en los cromosomas y enfatiza su carácter material. Finalmente, la genética molecular propone que el material de la herencia es una complicada cadena de nucleótidos, lo que permite entender cómo la sustancia de la que depende la herencia se traduce en un componente estructural del organismo. Los conceptos «secuencia de nucleótidos de ADN» y «totalidad de las secuencias de nucleótidos contenidas en los cromosomas» tornan superfluos los conceptos de gen y genotipo, con los que no se corresponden puntualmente. De esta manera, la genética molecular no introduce términos teóricos propios, pues la carga teórica de «secuencia de nucleótidos de ADN» y «totalidad de las secuencias de nucleótidos contenidas en los cromosomas» proviene de la bioquímica. Se podría pensar que el flujo informático contenido en la sucesión de estados moleculares es un concepto teórico de la genética molecular; sin embargo, la idea de que frecuencias aperiódicas pueden ser vehículos de información no procede de la biología, sino de la física. Así como una pauta de ondas sonoras o una pauta eléctrica son secuencias portadoras de información, pautas de desoxirribonucleótidos, ribonucleótidos o aminoácidos también son secuencias que portan información.

El enfoque molecular del que participa la genética molecular está presente en numerosas ramas de la biología. La reducción dimensional del objeto de estudio a biomoléculas permite el tratamiento de muy diversos problemas con un lenguaje unificado. En otras palabras, el proyecto reduccionista molecular en biología facilita el solapamiento de dominios de teorías que tratan distintos aspectos de los se-

res vivos. Así, la biología molecular no sólo es reduccionista, también contiene un aspecto holista. Quizá en ello radica buena parte de su éxito.

BIBLIOGRAFÍA

Casanueva, M. (2003), *Mendeliana*, Biblioteca de Signos, UAMI-Porrúa, México.

Chambers, D. A. (ed.) (1995), *DNA: The Double Helix*, «Annals of the New York Academy of Sciences», vol. 758, New York.

Dunn, L. C. (1965), *A Short History of Genetics*, McGraw-Hill, New York.

Echeverría, J. (1995), *Filosofía de la Ciencia*, Akal, Madrid.

Lorenzano, P. (1995), *Geschichte und Struktur der Klassischen Genetik*, Peter Lang, Berlin.

Luria, S. (1980), *36 Lecciones de Biología*, Blume, Barcelona.

Mathews, C. K., Van Holde, K. E. y Ahern, K. G. (2000), *Biochemistry*, Addison Wesley Longman, San Francisco.

Morgan, T. H., Sturtevant, A. H., Muller, H. J. y Bridges, C. B. (1915), *The Mechanism of Mendelian Heredity*, Henry Holt, New York.

Portugal, F. H. y Cohen, J. S. (1977), *A Century of DNA*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Sinnott, E. W., Dunn, L. C. y Dobzhansky, T. (1961), *Principios de Genética*, Omega, Barcelona.

Stern, C. y Sherwood, E. R. (1973), *El origen de la Genética*, Alhambra, Madrid.

LA BIOLOGÍA MOLECULAR: EL RETO DE FORMULAR EXPLICACIONES REDUCCIONISTAS

Edna Suárez

1. INTRODUCCIÓN

La filosofía de la ciencia no puede permitirse abordar problemas como el de la naturaleza de la racionalidad o de la explicación sin llevar a cabo un análisis a fondo de la manera en que tales cuestiones se han abordado y resuelto en cada una de las disciplinas científicas y en los problemas concretos que abordan. Ya en 1976, David Hull —en el contexto del debate en torno al reduccionismo en biología— señalaba varios tipos de dificultades que surgen cuando, en lugar de caracterizar los procesos que ocurren en la ciencia, el filósofo se aboca a analizar las relaciones formales entre reconstrucciones racionales y atemporales de las teorías científicas (Hull 1976). Tales dificultades, que incluyen la falta de criterios para elegir entre reconstrucciones alternativas, el poco acuerdo acerca de la profundidad y detalle que deben tener éstas y la nula justificación para excluir análisis históricos, siguen siendo válidas. Sin embargo, en ocasiones no basta con que el filósofo tome en cuenta las condiciones y resultados de la práctica científica. Un análisis más amplio del contexto en que éstas se llevan a cabo, que incluya aspectos culturales y sociales rara vez tomados en cuenta en la filosofía de la ciencia, puede enriquecer aún más nuestra comprensión de dichos problemas. Bajo esta perspectiva, la intención de este artículo consiste en revisar la discusión en torno al papel de las explicaciones reduccionistas en la biología molecular. Nos referiremos no sólo al análisis filosófico llevado a cabo por distintos autores, sino a las formas en que los científicos han dado cuenta de los fenómenos relativos a la herencia en distintas etapas de la historia de la biología molecular, así como a la función que las explicaciones re-

duccionistas han cumplido dentro del amplio proyecto social y cultural que revolucionó a la biología a partir de la década de los años treinta.

La referencia al marco cultural y social en un artículo dedicado al tema de la explicación en la biología molecular puede parecer fuera de lugar. Entre las razones por las cuales considero que dicha referencia es necesaria, menciono brevemente las siguientes.

Las nociones de reduccionismo y determinismo genético se encuentran en el centro de una concepción científica, y más allá de esto, de una *expectativa cultural* acerca de lo que constituye una explicación satisfactoria. Por «expectativa cultural» me refiero a valores que se encuentran profundamente atrincherados en las formaciones sociales e históricas en las que se desenvuelven las tradiciones científicas, guiando la investigación y, por tanto, el tipo de soluciones que se desarrollan en la ciencia. Autores como Richard C. Lewontin (1991) y Philip Kitcher (1997) han tratado de hacer explícitos estos valores y la manera en que afectan a la investigación biológica y sus resultados, centrándose precisamente en el caso de la genética y sus aplicaciones. Lewontin señala, por ejemplo, que dentro de los supuestos básicos que tienen un efecto profundo sobre las formas de explicación de la ciencia, destacan el individualismo, que «coincide con una nueva perspectiva de la naturaleza, la perspectiva reduccionista» (1992, 12), así como la clara distinción entre causas y efectos que es característica de la ciencia moderna. En esa concepción el «mundo es partido en dominios autónomos independientes, lo interno y lo externo; en el caso de la biología esto ha desembocado en una perspectiva que ve a los organismos como individuos determinados por factores (o causas) internos, los genes (*ibid*., 13). Lewontin también señala la preferencia que, en nuestra cultura, tienen las explicaciones que simplifican los procesos, en contra de explicaciones que reconocen que los fenómenos son «complicados, inciertos y desordenados, sin una regla simple o fuerza que explique el pasado y prediga el futuro» (*ibid*., vii). Por su parte, Kitcher ha hecho un esfuerzo por revelar las falacias que se esconden en una visión ingenua que, si bien rechaza abiertamente el determinismo biológico, continúa atribuyendo caracteres complejos directamente a los genes (Kitcher 1997, 239). La crítica de Kitcher se dirige contra la expectativa general de contar con explicaciones y soluciones simples y comunes a problemas que tienen causas, desarrollo y consecuencias muy diversos. Así, por ejemplo, Kitcher distingue, entre las enfermedades *genéticas*, aquellas que pueden ser enfrentadas mediante una terapia relativamente sencilla (como un cambio en la dieta), aquellas de las que hoy en día solamente podemos paliar sus

consecuencias y finalmente aquellas que causan un deterioro inevitable y grandes dosis de sufrimiento para el enfermo y sus familiares. Kitcher argumenta, con razón, que pensar que la *terapia génica* consiste en un solo tipo de respuesta a situaciones tan diversas es no sólo incorrecto, sino que responde a una expectativa simplista y entusiasta promovida mayormente en los medios masivos de comunicación. Como veremos a continuación, las reflexiones de Lewontin y Kitcher adquieren relevancia al contrastarlas con las explicaciones que los biólogos moleculares han elaborado en el marco de una estrategia de investigación reduccionista que se hizo explícita y se intensificó a partir de 1930.

2. EL PROBLEMA DEL REDUCCIONISMO

Antes que nada es necesario delimitar en qué consiste el problema del reduccionismo. Dicho problema se remonta al siglo XVII, cuando la filosofía mecánica planteó que todos los hechos y leyes de la física fueran explicados o «reducidos» a las interacciones locales entre partículas impenetrables de la materia. Una versión distinta del problema plantea que los hechos y procesos que ocurren en diferentes ámbitos de la naturaleza (por ejemplo, el ámbito biológico) sean reducidos a las leyes de la mecánica. En el caso del estudio de los seres vivos, dicho ideal se expresó sobre todo en la primera versión, mediante la metáfora del organismo-máquina, la cual jugó un importante papel en la construcción de explicaciones mecanicistas de procesos como la circulación de la sangre. En dicha metáfora, las partes de un organismo y sus interacciones se consideran suficientes para explicar los procesos biológicos, de manera análoga a la explicación del funcionamiento de un reloj, en la cual las partes (pernos, cuerdas, resortes) y sus relaciones son suficientes para dar cuenta de su comportamiento. Sin embargo, incluso Descartes debió admitir las limitaciones del ideal mecanicista al abordar el problema de la generación (o reproducción) de los organismos. Descartes no sólo se enfrentó a la ausencia de evidencias del desarrollo embriológico, sino que abiertamente señaló la dificultad de encontrar *leyes mecánicas* que dieran cuenta de ese proceso, las cuales deberían dictar en qué orden y de qué manera se van constituyendo las diferentes partes (órganos) de un ser vivo en formación (Suárez 2000).

Pese a tales dificultades, la idea de dar cuenta de las teorías, leyes y/o hechos empíricos de una disciplina científica en términos de otra considerada más fundamental, esto es, la idea de *reducir* la primera a

la segunda, continuó jugando un papel significativo como estrategia de investigación en la ciencia moderna. Así pues, de manera general podemos caracterizar el problema del reduccionismo como el problema de la relación epistemológicamente significativa entre las distintas áreas del conocimiento (Suárez y Martínez 1998, 337). Para el caso de la biología, usualmente el problema se ha planteado como una cuestión de la relación entre biología y física, esto es, como un problema que tiene que ver con la *autonomía* o el *provincialismo* de la biología con respecto a la física (Feltz 1995).

Esta caracterización, sin embargo, es aún muy amplia y necesitamos acotarla. Sarkar (1991), quien ha elaborado una detallada taxonomía del problema, ha hecho ver que con relación al problema del reduccionismo frecuentemente se confunden cuestiones de tipo epistemológico con cuestiones de tipo ontológico; asimismo, se habla indistintamente de reduccionismo para referirse a un tipo de explicación o a una estrategia de investigación. Si bien el presente artículo no puede abordar a fondo esas cuestiones, sí hará explícitas tales distinciones y se apoyará en la clasificación de Sarkar, la cual ha sido defendida también por otros autores (como Mayr 1982 y Feltz 1995). En dicha clasificación se reconoce que existen al menos tres tipos de modelos de reduccionismo: teórico, explicativo y ontológico o constitutivo. Los primeros, ejemplificados por los modelos de Ernst Nagel (1949) y Kenneth Schaffner (1967; 1974), se refieren a una relación de explicación de una teoría por otra que se presume más fundamental. Los segundos, entre los que destacan los modelos de Stuart Kauffman (1971) y William Wimsatt (1976*a*; 1976*b*), se refieren a aquellas explicaciones en las que se da cuenta de un fenómeno o proceso a partir de sus partes constitutivas, esto es, se trata de lo que comúnmente se conoce como explicaciones mecanicistas; como veremos más adelante, este tipo de modelos parecen ser los más adecuados para retratar el caso de la biología molecular. Por último, los modelos de reduccionismo ontológico son aquellos que requieren que ningún fenómeno viole las leyes de la física (en la formulación de Fodor 1974); aunque también puede ser formulado utilizando la noción de *superveniencia*: dos eventos idénticos en su especificación en un nivel inferior, no pueden diferir en un nivel superior (Davidson 1970 y Rosenberg 1985). Este tercer tipo de reduccionismo no es motivo de controversia en la ciencia moderna, y de hecho es parte fundamental de sus estrategias de investigación. En lo que sigue no volveremos a ocuparnos él. Los otros dos tipos de reduccionismo, por el contrario, se encuentran en el centro de diferentes discusiones que tienen que ver con la mencionada relación de la biología con otras ciencias, en

particular la física y la química, así como con la cuestión del determinismo biológico.

Ahora bien, durante gran parte del siglo XX predominó, en la filosofía de la ciencia, una concepción según la cual los contenidos epistémicos de la ciencia se encuentran formulados en *teorías*, por lo cual la discusión del reduccionismo giró alrededor de los modelos de reduccionismo teórico. Si bien esta situación ha cambiado en las últimas décadas, una breve presentación del modelo de reducción de Nagel, en el cual se apoyan la mayoría de los modelos de reducción teórica, nos permitirá introducir los términos en los que se ha librado el debate en el caso de la biología molecular.

En el modelo de Nagel la relación de reducción es entendida como una relación explicativa entre teorías. Dicha relación de explicación, a su vez, se concibe de acuerdo con el modelo nomológico-deductivo de Hempel. Así pues, en el modelo de Nagel la reducción de una teoría (T1) por otra (T2) es entendida como una relación de explicación en la que la teoría reducida (T1) se deriva de la teoría reductora (T2). Esto significa que las leyes y observaciones contenidas en T1 deben poder deducirse de las leyes y observaciones de T2, para lo cual deben cumplirse dos condiciones (a las que volveremos más adelante): la derivabilidad y la conectabilidad de los términos de ambas teorías.

En el caso de la biología el ejemplo más debatido de una reducción teórica ha sido el de la genética mendeliana (o clásica) a la biología molecular. Schaffner (1967) fue el primer autor en señalar que dicha reducción estaba ocurriendo. Sin embargo, rápidamente tuvo que matizar sus aseveraciones, al admitir que la *estrategia* de investigación de los biólogos moleculares no consistía en la búsqueda de leyes y teorías moleculares de la herencia a partir de las cuales se dedujeran las leyes de Mendel o de la genética clásica (Schaffer 1974). Otros autores, entre los que destaca David Hull (1972; 1974; 1976; 1981), entraron en la discusión adoptando una postura anti-reduccionista, al señalar que la biología molecular no es una teoría y, más aún, que carece de leyes, situación que es distinta para el caso de la genética mendeliana. Hull argumentó que la condición de derivabilidad no puede cumplirse debido a la ausencia de leyes en la biología molecular, cuyas explicaciones recurren a mecanismos; y la condición de conectabilidad entre los términos tampoco se cumple debido a que un mecanismo molecular puede dar cuenta de más de un proceso mendeliano, esto es, no existe una correspondencia uno-a-uno entre los términos de ambas teorías. A partir de estas posturas iniciales, diferentes autores han debatido si las explicaciones de la biología mole-

cular y la genética tienen la forma de leyes o no, y si se cumplen o no las condiciones del modelo de Nagel. Otros autores, en cambio, han abandonado esos términos de la discusión: para ellos los modelos de reduccionismo que se aplican a las explicaciones de la biología molecular son los modelos mecanicistas o explicativos (Kauffman 1971; Wimsatt 1976*a*; 1976*b*). Una corta revisión de la historia de la biología molecular y del contexto cultural en que ésta se desarrolló nos proporcionará elementos adicionales para profundizar en los términos del debate y tomar una posición al respecto.

3. LA BIOLOGÍA MOLECULAR COMO PROYECTO CULTURAL Y CIENTÍFICO

Desde sus inicios en la década de los años treinta, el enfoque molecular fue impulsado como una *estrategia de investigación* que debía proporcionar enormes ventajas en la obtención de conocimiento biológico. Los impulsores de dicha estrategia, entre quienes sobresale la Fundación Rockefeller (Kohler 1991; Abir-Am 1982; Kay 1993), sostenían que al *reducir* los grandes problemas de los seres vivos, y en especial del hombre, a sus componentes más básicos (las biomoléculas), podría equipararse a la biología con la física y a la química tanto en su potencial explicativo como en sus aplicaciones tecnológicas. El término mismo, *biología molecular*, acuñado en 1938 por el director de la División de Ciencias Naturales de la Fundación Rockefeller, Warren Weaver, se refería a esta perspectiva como parte de un proyecto más global y ambicioso: la «Ciencia del Hombre». La Ciencia del Hombre era un proyecto de *ingeniería social* que a largo plazo permitiría solucionar problemas que se asociaban a la biología, pero también a la psicología y la sociología. Éstos incluían las crecientes tasas de divorcio y delincuencia, la asimilación de inmigrantes, el control de la natalidad y la prostitución, y otros diagnosticados como «disfunciones sociales» en la década de los años veinte (Kay 1993, 34).

Para alcanzar dichos objetivos la nueva biología, según lo declaraba Thomas H. Morgan en 1928, debía buscar la *unidad* de los fenómenos vivos, concentrándose en procesos como la respiración o la reproducción, más que en un objeto de estudio como los mamíferos o los hongos. En función de ello resultaba conveniente estudiar tales fenómenos en sus niveles *mínimos*, empleando sistemas biológicos simples, como los virus y bacterias y buscando descubrir las leyes fisicoquímicas que gobiernan la vida, distanciándose así de la investigación en torno a las relaciones entre éstos (desde la simbiosis hasta

las interacciones ecológicas) y pasando por alto los aspectos históricos o evolutivos. Para llevar a cabo estos propósitos la biología molecular debía emplear nuevas tecnologías para el estudio del nivel sub-celular (microscopio electrónico, ultracentrífuga, electroforesis) y métodos prestados de la física, las matemáticas y la química, así como de otros campos de la biología incluyendo la genética, la embriología, la inmunología y la microbiología, trascendiendo límites disciplinarios establecidos (al respecto, el papel que jugaron los físicos en el nacimiento de la biología molecular ha sido especialmente documentado y debatido, cf. Fox Keller 1990).

De esta manera la biología molecular se constituyó en una estrategia de investigación reduccionista de los seres vivos, si bien en los años treinta investigadores como Max Delbrück o Conrad Waddington persiguieron aisladamente estrategias anti-reduccionistas que luego abandonaron (Abir-Am 1982 y Sarkar 1989). La estrategia reduccionista implicó la adopción de compromisos —tales como el uso de las nuevas tecnologías o la elección de virus y bacterias como objetos de estudio— y, por tanto, la búsqueda o construcción de *explicaciones* de cierto tipo para los fenómenos biológicos. Tales explicaciones son generalmente caracterizadas como *reduccionistas*, en un sentido que intentaremos clarificar. Por ejemplo, William T. Atsbury (1898-1951), físico apoyado por la Fundación Rockefeller, que en 1944 obtuvo las primeras imágenes de ADN por cristalografía de rayos X, sostenía que la biología molecular:

> [...] implica no tanto una técnica sino más bien una perspectiva que se origina desde el punto de vista de las llamadas ciencias básicas, con la idea central de indagar el plan molecular que subyace a las manifestaciones a gran escala de la biología clásica. Se ocupa principalmente de las formas de las moléculas biológicas y de la evolución, explotación y ramificación de estas formas en su ascenso hacia los niveles superiores de organización (citado en Olby 1988, 505).

En resumen, la idea de impulsar el estudio molecular de los seres vivos, como fundamento de una Ciencia del Hombre, constituyó no sólo un proyecto científico sino un proyecto de mayor envergadura, esto es, un proyecto cultural que encarnaba valores fuertemente arraigados, como la confianza en el poder explicativo y tecnológico de la ciencia en la solución de complejos problemas de la humanidad. Dicho proyecto, con un carácter claramente reduccionista (en el sentido de que buscaba la solución a grandes problemas en la indagación molecular de los seres vivos), pero también determinista (en el sentido de creer que es posible controlar complejas manifestaciones histó-

ricas a partir del conocimiento de algún aspecto «fundamental» de los organismos), encarnó en estrategias y explicaciones particulares en las distintas etapas de la historia de la biología molecular. Así, en el periodo entre las dos guerras, el énfasis se puso en los aspectos físicos y químicos de los seres vivos, con especial interés en las proteínas y su estructura. Este enfoque permaneció entre 1930 y 1950, hasta que fue reemplazado por la perspectiva centrada en los ácidos nucleicos y en los conceptos de información y código genético. Veamos ahora cómo fueron abordados y eventualmente explicados en esas etapas algunos problemas fundamentales.

En la primera etapa, que Kay (1993) ha caracterizado como dominada por el «paradigma de las proteínas», la noción de *especificidad* biológica constituía uno de los hilos conductores de la investigación. Diferentes estudios experimentales mostraban que los genes eran altamente *específicos* con respecto a sus productos, las enzimas mostraban una gran *especificidad* por sus sustratos y el enlace entre anticuerpos y antígenos era un índice de *especificidad*, entre muchos otros ejemplos. Los científicos consideraban que las proteínas eran moléculas con una estructura suficientemente compleja como para transmitir y ejecutar los caracteres hereditarios de manera *específica*. En muchos casos el término «especificidad» (como más tarde el de información) tenía una cualidad más metafórica y heurística que operativa. A menos que fuera detallada a través de algún tipo de estructura, medida, mecanismo o procedimiento experimental concreto, la especificidad no era una explicación (*explanans*) sino algo que requería ser explicado (*explanandum*). Sin embargo, en diferentes líneas de investigación biológica tenía un significado concreto y un valor práctico, como en la taxonomía, la virología o la bacteriología, donde servía como herramienta para medir las actividades y las relaciones entre moléculas, organismos, especies y «razas» (Kay 2000, 45-46).

La especificidad catalítica de las proteínas, en particular, había sido reconocida desde el siglo XIX y existían muchos otros argumentos para creer que la composición química de los genes era de naturaleza proteínica, entre los que destaca la supuesta simplicidad estructural del ácido desoxirribonucleico (ADN), componente esencial de los cromosomas. Así pues, era común creer que los genes de naturaleza proteínica actuaban *directamente* como catalizadores específicos de las reacciones bioquímicas y el problema central de la *especificidad* funcional de los genes era resuelto utilizando las explicaciones usuales de la química y la bioquímica.

En 1936, por ejemplo, Linus Pauling (trabajando en el Instituto Tecnológico de California bajos los auspicios de la Fundación Rocke-

feller) abordó el problema del mecanismo molecular de la desnaturalización y renaturalización de las proteínas. De acuerdo con la explicación de Pauling, la función biológica de una proteína depende de la conformación y plegamiento específico de la larga cadena polipeptídica, que a su vez depende tanto del tamaño y la carga eléctrica de sus aminoácidos constituyentes como de la secuencia u orden de éstos. La desnaturalización provocada por factores como los cambios en la temperatura o acidez del ambiente causa que la cadena se desdoble y pierda su actividad biológica (al romperse, por ejemplo, enlaces de hidrógeno que se forman debido a la presencia de iones), mientras que la renaturalización causa el doblamiento y la recuperación de su forma funcional al reconstituirse las interacciones originales. Esta forma es funcional porque cataliza un tipo de reacción metabólica gracias a la complementariedad *estereoquímica* entre la enzima y el sustrato a catalizar. Es decir, tanto en su conformación espacial como en sus cargas y propiedades electroquímicas, la enzima y el sustrato son capaces de interactuar de manera *específica*. Con frecuencia se utiliza, para comprender dicha relación, la analogía con el mecanismo de una llave y su cerradura, modelo desarrollado por Emil Fisher a finales del siglo XIX.

Posteriormente, en la segunda etapa de la biología molecular que inicia en los años cincuenta, los ácidos nucleicos toman el lugar de las proteínas como las biomoléculas más estudiadas y el concepto de *información* adquiere predominancia sustituyendo a la noción de especificidad biológica. La concepción de la herencia que caracteriza a esta etapa condujo gradualmente a abandonar la idea de que los genes llevan a cabo directamente las funciones orgánicas y su reemplazo por el modelo actual en el que los genes *determinan*, pero no ejecutan, el desarrollo y funcionamiento del organismo hasta en sus más mínimos detalles. En esta concepción también se apela al mecanismo de complementariedad estereoquímica de las biomoléculas y al modelo de llave-cerradura para explicar numerosos procesos moleculares. Pero una diferencia importante es que la noción de especificidad se sustenta sobre todo en los aspectos estructurales de las biomoléculas, mientras que la idea de información lo hace sobre sus aspectos dinámicos, esto es, en los procesos de transporte e intercambio moleculares y celulares.

Esta concepción de la transmisión y expresión de la herencia se fortalece a partir de 1953, cuando James Watson y Francis Crick proponen un modelo para la estructura del ácido desoxirribonucleico. Ya para entonces, era aceptado el hecho de que el ADN, no las proteínas, era el material que componía los genes. En esta concepción, que

alcanza su máxima expresión con la enunciación del dogma central de la biología molecular por Crick en 1959, la acción y transmisión de los genes es descrita como un flujo de información que corre en una sola dirección: de los ácidos nucleicos hacia las proteínas. Ello provocó no sólo un fortalecimiento del reduccionismo explicativo, sino del determinismo genético, tema al que volveremos más adelante.

En su artículo de 1953 Watson y Crick señalaban que su modelo de ADN sugería un *mecanismo* por el cual podría ocurrir la llamada replicación o transmisión de la herencia. El mecanismo, corroborado por primera vez experimentalmente en 1957, consistía en el desdoblamiento de las hélices y la formación de cadenas complementarias utilizando como molde o templado cada una de las cadenas iniciales, con la ayuda de diferentes tipos de enzimas de acción específica como las helicasas, que abren la molécula de doble hélice, y las polimerasas de ADN, que sintetizan la nueva cadena y corrigen los errores cometidos en el proceso. Este modelo de replicación se conoce con el nombre de semi-conservativo, pues en cada nueva generación una de las dos cadenas del DNA será «nueva» y la otra será el molde de la cadena «vieja». En dicho modelo juegan un papel fundamental, de nuevo, el modelo de llave-cerradura (ahora para referirse a las interacciones entre bases nucleotídicas) y las explicaciones estereoquímicas de la síntesis de la nueva cadena complementaria. Además, el modelo de replicación semi-conservativa tiene un fuerte componente mecanicista, ya que consiste en una enumeración de las partes o componentes (las enzimas participantes, o las bases nucleotídicas entre otras moléculas) que intervienen en el proceso, así como una descripción de sus interacciones.

Desde el punto de vista filosófico, destacan también el problema de la transcripción (el paso de la información contenida en el ADN a ARN, ácido ribonucleico), de la traducción (el paso de la información contenida en el ARN a proteínas), y la idea de que existe un *código* genético que relaciona el «lenguaje» de los ácidos nucleicos y de las proteínas. La noción de información que corre en una sola dirección desplaza la idea de que las interacciones moleculares y celulares con el medio son fundamentales para entender el problema de la herencia. Es decir, se eliminan las representaciones dinámicas y contingentes de la herencia a las que estaban acostumbrados los bioquímicos y los embriólogos. Jacques Monod llamaba a este entramado de relaciones la *ecología molecular* de la célula. Esta forma de referirse al funcionamiento orgánico es sustituida, en la propia obra de Monod, por una representación de la célula en la cual se da cuenta de los procesos del desarrollo en términos de una información abstracta y una

causalidad lineal. La «información» genética es traducida de manera inequívoca al «lenguaje» de las proteínas mediante el «código» genético. La biología molecular avanza, pues, en la elaboración de explicaciones que incorporan metáforas lingüísticas y cibernéticas y, especialmente, un giro determinista. En efecto, el establecimiento en los años sesenta del código genético reforzó no sólo la estrategia reduccionista, sino también el determinismo genético, es decir, la idea de que los genes controlan la «maquinaria celular» y todo el desarrollo del organismo, al dictar el orden y la composición de los aminoácidos en las proteínas (Morange 1998, 123). Sin embargo, el giro determinista de la biología molecular no nace con el hallazgo del código genético. Como vimos, desde sus inicios en los años treinta el proyecto de la Ciencia del Hombre se apoyaba en una concepción no sólo reduccionista, sino determinista de la ciencia, según la cual podrían encontrarse explicaciones (y soluciones) biológicas que en última instancia se relacionarían causalmente con los complejos problemas sociales de inicios del siglo XX. Tales expectativas marcaron el apoyo a la estrategia de investigación molecular de los seres vivos. Erwin Schrödinger llevó a su forma clásica esta postura en su influyente libro *What is Life?*, publicado en 1944. En esa obra Schrödinger presenta su visión determinista del papel de los genes:

> [A]l llamar a la estructura de los cromosomas un código, queremos decir que la mente omniabarcante, alguna vez concebida por Laplace, para la cual cualquier conexión causal permanece inmediatamente abierta, podría decirnos a partir de su estructura si el huevo se desarrollaría, dadas las condiciones apropiadas, en un gallo negro o una gallina pecosa, en una mosca o una planta de maíz, un diente de león, un escarabajo, un ratón o una mujer (citado en Morange 1998, 75).

Si bien muchas de las ideas de Schrödinger no eran originales, su papel como ideólogo de la estrategia de investigación de la nueva biología molecular ha quedado más que establecido (Fox Keller 1990). Hoy en día es común en la literatura la confusión entre las explicaciones geneticistas, que son el resultado de una estrategia de investigación reduccionista, y las explicaciones deterministas (con ejemplos como el *gen de la obesidad* o el *gen de la homosexualidad*). La distinción, sin embargo, es filosóficamente relevante ya que, como han hecho ver autores como William Wimsatt (1976*a*), o más recientemente Philip Kitcher (1997), puede haber reduccionismo (del tipo que, como veremos, es ejemplificado en las explicaciones geneticistas) sin determinismo biológico.

4. LA REDUCCIÓN DE LA GENÉTICA A LA BIOLOGÍA MOLECULAR

Volvamos al problema del reduccionismo. El desarrollo impresionante de la biología molecular, del que hemos dado algunos ejemplos, atrajo pronto la atención de los filósofos. Como mencionamos anteriormente, Schaffner inicia el debate filosófico al sostener que está ocurriendo la *reducción* de la genética mendeliana a la biología molecular. Autores como Hull (1972; 1976; 1981) y más recientemente Philip Kitcher (1982; 1984) rechazaron esa postura, mientras que otros como William Wimsatt (1976*a*; 1976*b*) defendieron el reduccionismo, pero reformulando el problema y, a mi juicio, aportando elementos clave para un enriquecimiento no sólo del debate sino de la discusión acerca de la naturaleza de las explicaciones en biología.

A partir de la breve reconstrucción histórica que hicimos, intentemos plantear el estado de la discusión. Parte de la complejidad del debate se elimina si distinguimos (como se anunció al inicio de este artículo) entre estrategias de investigación y explicación, y si separamos los modelos de reduccionismo teórico de los modelos de reduccionismo explicativo, como sugiere, entre otros, Sarkar (1991). Está claro que una estrategia de investigación reduccionista se impulsó en el marco de un vasto proyecto cultural (la Ciencia del Hombre) que encarnaba valores y expectativas acerca de la ciencia en la década de los años treinta. Ello condujo a establecer compromisos de investigación como los señalados por Morgan y Atsbury respecto a la elección del tipo de fenómenos a estudiar. Pero, como bien reconocieron cuatro décadas después tanto Schaffner (1974) como Hull (1974; 1976), dicha estrategia *no* consistió en la búsqueda de leyes moleculares de la herencia, pues los investigadores no se dedicaron a buscar o elaborar una teoría molecular a partir de la cual derivar las leyes de Mendel. Hull fue más allá al señalar que las investigaciones moleculares consisten, más bien, en la búsqueda de mecanismos que dan cuenta de cada uno de los procesos de la herencia o del comportamiento de las proteínas. Más aún, cuando atendemos al tipo de explicaciones que se generaron en las dos etapas principales de la historia de la biología molecular, observamos que predominan las explicaciones por mecanismos, el uso de metáforas como la de la especificidad y la de la información y la aplicación de modelos sencillos y generales como el de llave-cerradura. En este sentido, la historia de la biología molecular no apoya la sugerencia de Schaffner de que una reducción de tipo teórico esté ocurriendo entre la genética clásica y la molecular.

Sin embargo, Schaffner (1974; 1993) ha continuado defendiendo la idea de que las explicaciones reduccionistas de la biología molecu-

lar sí pueden entenderse con base en un modelo como el suyo, que se apoya pero modifica algunos aspectos del modelo de Nagel. En particular, Schaffner reconoció que las condiciones planteadas por dicho modelo eran muy restrictivas, no sólo para el caso de la biología (como lo señaló, entre otros, Feyerabend 1962), y de hecho ya las había modificado en su modelo de 1967 (Schaffner 1967), en el cual sostiene que de la teoría reductora no se deriva la teoría reducida, sino una versión corregida y «fuertemente análoga» de la misma.

Como mencionamos, la postura de Hull (1972; 1974; 1976; 1981) ha consistido en señalar que las explicaciones en la biología molecular generalmente tienen la forma de mecanismos responsables de ciertos fenómenos, y nunca de algo remotamente parecido a una derivación, por lo que la condición de derivabilidad no se cumple en este caso. También vimos que Hull ha señalado que muchos mecanismos moleculares dan cuenta del mismo fenómeno a nivel «clásico», por lo que tampoco se cumple la condición de conectabilidad en el caso de la genética y la biología molecular. Según Hull (lo que coincide con el recuento que hemos hecho de algunas explicaciones de la biología molecular), no existe algo como una «teoría molecular de la herencia» que incluya leyes o generalizaciones más o menos precisas de los fenómenos a ese nivel, por lo que este autor concluye que la genética clásica está siendo *reemplazada*, no reducida, por la biología molecular. Kitcher (1982; 1984), por su parte, ha apoyado también la postura anti-reduccionista, pero sobre la base de que no existe una teoría clásica de la herencia, lo cual ha sido criticado por Sarkar (1991), quien señala que las dos leyes de Mendel permiten que se cumpla con los criterios mínimos de caracterización de una teoría. Lo que es importante notar es que estos autores (Schaffner, Hull y Kitcher) parten del supuesto de que el reduccionismo es una relación nomológico-deductiva entre teorías y que, por lo tanto, es este tipo de relación la que hay que buscar para el caso de la reducción de los fenómenos y leyes de la herencia a la biología molecular.

El análisis más fructífero del reduccionismo en la biología proviene, sin embargo, de aquellos autores que han reflexionado en torno a los modelos que Sarkar (1991) define como de tipo explicativo. Entre ellos sobresalen los de Stuart Kauffman (1971) y William Wimsatt (1976*a*). Ambos nos permiten no sólo dar cuenta del tipo de explicaciones concretas que se han elaborado en las diversas etapas del desarrollo histórico de la biología molecular sino, en el caso del análisis de Wimsatt, preguntarnos por la *función* que cumplen las explicaciones y las estrategias reduccionistas en el marco de proyectos culturales como el impulsado por la Fundación Rockefeller.

El modelo de explicación por articulación de partes propuesto por Kauffman (1971) es particularmente adecuado para describir muchas de las estrategias adoptadas y de las explicaciones generadas en la biología molecular. Según Kauffman, típicamente las explicaciones en biología, y la manera como los científicos llegan a ellas, muestran la forma en que partes y procesos se articulan para que el sistema lleve a cabo algo particular. Kauffman relaciona su modelo de explicación con la estrategia de investigación que siguen los científicos y de acuerdo con su análisis ello ocurre en tres etapas. Primero, dada una descripción adecuada de un organismo como haciendo algo, se puede utilizar dicha descripción para ayudarnos a descomponer al organismo en sus partes y procesos que se articulan para causar que se comporte de la manera descrita (1971, 258). Segundo, el uso de dicha descripción puede servirnos como guía para una descomposición del organismo en sus partes y procesos, y de hecho parte de la lógica de la investigación está íntimamente ligada con las condiciones suficientes para una descripción adecuada En particular podemos usar esas condiciones suficientes para generar un modelo cibernético que muestra cómo las partes simbólicas se pueden articular para generar una versión simbólica del comportamiento descrito (*ibid.*). Y tercero, podemos usar dicho modelo cibernético para ayudarnos a encontrar un modelo causal isomórfico que muestre cómo las partes y los procesos putativos del sistema real se articulan para causar el comportamiento descrito (*ibid.*).

Como podemos apreciar, el tipo de estrategia y de explicaciones al que se refiere Kauffman nos recuerda la estrategia y explicaciones que —tal y como hemos ilustrado— caracterizan a la biología molecular. Los investigadores parten de una caracterización de las *partes* involucradas (en este caso moléculas, sean aminoácidos o nucleótidos) en un determinado proceso, así como de la manera en que éstas se articulan. Ahora bien, como señala Kauffman, no existe una única manera correcta de efectuar la descomposición de un organismo en sus partes, ya que existen diferentes perspectivas desde las cuales podemos describirlo. Un proceso como el de la replicación del ADN puede ser descrito desde la perspectiva de la genética molecular o desde la perspectiva de la biología del desarrollo, pero el hecho de que no haya una única perspectiva correcta de lo que un organismo hace, no implica que cualquier descomposición arbitraria sea aceptable, pues las distintas descomposiciones tienen que ser compatibles y todas requieren información para ser elaboradas.

Analicemos con un poco más de detalle cómo es que la explicación molecular de la replicación se acerca al modelo de Kauffman. De

acuerdo con el modelo, puede utilizarse una descripción de las condiciones suficientes que explican el proceso para construir un modelo simbólico o cibernético que, a su vez, auxilie en la elaboración de un modelo causal isomórfico. Como vimos, una descripción de las condiciones suficientes del proceso y sus partes fue posible una vez que se contó con el modelo de doble hélice de ADN. Watson y Crick especularon en torno a las posibles alternativas mediante las cuales podría duplicarse una doble hélice, señalando la pertinencia del modelo semi-conservativo. En esta etapa ellos contaban con lo que Kauffman llama un modelo simbólico o «cibernético», esto es, las reglas mediante las cuales se articulan las partes del proceso descrito. Partiendo de este modelo fue posible construir hipótesis acerca de las partes y su articulación. Por ejemplo, parecía que debían existir enzimas cuya función fuese «abrir» el trenzado de la doble hélice, y enzimas responsables de la unión de nucleótidos complementarios, del estilo llave-cerradura, a lo largo de cada una de las cadenas. Ambas hipótesis fueron corroboradas experimentalmente tiempo después, con lo que se construyó un modelo *causal* isomórfico, que incluye los mecanismos (la acción catalítica de las enzimas) por los cuales se lleva a cabo el proceso. Así pues, hablamos de una explicación reduccionista en el sentido de que un proceso como la replicación del material genético es explicable a partir de la descripción de sus partes y de la manera como éstas interaccionan, con ayuda de modelos mecanicistas.

Por su parte, el análisis del reduccionismo llevado a cabo por William Wimsatt (1976*a*; 1976*b*) coincide en varios puntos con el de Kauffman. Lo más importante es que también para este autor el tipo de reduccionismo que prevalece en biología se refiere a una explicación de un proceso o fenómeno a partir de sus partes, es decir, la llamada explicación por mecanismos. La terminología de Wimsatt, sin embargo, es diferente, y sus consecuencias son otras. Para empezar, este autor distingue su enfoque *funcional* del reduccionismo, del enfoque *estructural* característico del neopositivismo (ejemplificado en modelos como los de Nagel y Schaffner). El primero se refiere al análisis de los patrones de actividad científica, a las estrategias de investigación que en efecto llevan a cabo los científicos; mientras que el segundo se refiere a la reconstrucción de la ciencia desde un punto de vista lógico o formal. En un contexto donde había prevalecido el enfoque estructural, carecía de sentido preguntar por la *función* que cumplen las reducciones, pregunta que —como señalamos al inicio de este artículo— es de suma importancia para relacionar el análisis filosófico con las inquietudes concretas de la ciencia, así como con su historia y sus implicaciones culturales.

Según Wimsatt, el enfoque estructural condujo a colapsar dos tipos de reducción, las que llama *intraniveles* e *interniveles*. En la primera tenemos una relación entre dos teorías que se refieren al mismo nivel de organización y en la que generalmente una teoría antigua es reducida por una teoría más reciente (con el clásico ejemplo de la mecánica newtoniana y la relativista). Si bien no podemos abundar en el análisis de Wimsatt, es importante señalar que la relación entre dos teorías que se refieren al mismo dominio es, según él, no sólo una relación lógica, sino una relación *histórica* en la que las diferencias, similitudes y casos límite se van elaborando conforme se comparan ambas teorías. Generalmente, más que de una relación de explicación se trata de una relación de sucesión o sustitución. El reduccionismo del segundo tipo, llamado «interniveles» o explicación por mecanismos, sin embargo, tiene mayor relevancia para nuestro problema. En primer lugar, este tipo de reducción no es necesariamente una relación entre teorías; en segundo lugar, tales explicaciones de un fenómeno o proceso se dan en términos de las propiedades y relaciones entre las partes del mismo. Wimsatt reconoce que estas explicaciones son las que los científicos conocen como reduccionistas, y las caracteriza como aquellas en las que un proceso que se lleva a cabo en un determinado *nivel de organización* es explicado a partir de las interacciones entre entidades de un nivel de organización *inferior*. Además, Wimsatt parte de una caracterización *realista* de los niveles de organización, según la cual éstos son «máximos locales de regularidad y predictibilidad en el espacio-fase de diferentes modos de organización de la materia». Es decir, cada nivel de organización se caracteriza porque las entidades que lo componen tienen más probabilidades de interaccionar entre ellas que con las entidades de otros niveles. Así, por ejemplo, el nivel molecular en los seres vivos se define por la mayor interacción que existe entre sus entidades componentes, las moléculas orgánicas, que entre éstas y, por ejemplo, las células o tejidos del organismo. En un mundo en el que las entidades se arreglan en tales estados máximos de regularidad se explica, según Wimsatt, la persistencia y el éxito de las estrategias y explicaciones reduccionistas y, añadiríamos nosotros, adquieren sentido —no sólo desde la historia o la sociología, sino desde la filosofía de la ciencia— las expectativas reflejadas en un proyecto como el de la Ciencia del Hombre, ligado a los orígenes de la biología molecular.

Otro aspecto interesante de la concepción de los niveles de organización de Wimsatt es que permite distinguir entre reduccionismo explicativo y determinismo genético. Una explicación es reduccionista siempre que recurra a los elementos de un nivel de organización in-

ferior. No hay argumento que justifique que el nivel genético molecular sea el nivel de organización «último» al cual deban recurrir todas las explicaciones biológicas y, por lo tanto, no existe una determinación del nivel genético para todos los fenómenos orgánicos. Por ejemplo, una explicación reduccionista del funcionamiento de un órgano puede darse en función de los tejidos que lo componen, sin apelar en ningún momento a factores genéticos. Además, existen explicaciones no reduccionistas, pero igualmente satisfactorias, de procesos biológicos. Éstas recurren a los elementos de un nivel de organización *superior*, como lo ejemplifica el caso de la recombinación genética, la cual se explica por el entrecruzamiento entre cromosomas y la formación de estructuras celulares como el huso cromosómico, todos ellos elementos del nivel de organización celular. Así pues, en el análisis de Wimsatt (al igual que en el de Kauffman) encontramos un reconocimiento de los aspectos pragmáticos de una buena explicación. Ésta siempre depende de lo que queramos explicar, y no de algún principio de causalidad general que determine los fenómenos en todos los niveles de organización biológica.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

A partir del siglo XVII una parte importante de la tradición científica ha reconocido el valor de la estrategia de investigación reduccionista y de las explicaciones a las que ésta da lugar. Ello ha marcado grandes retos para ciencias como la biología, no sólo por lo que ello implica en sus relaciones con las llamadas ciencias básicas (como la física y la química), sino por la especificidad de los problemas a los que se enfrenta el estudio de los seres vivos. En el siglo XX el debate en torno a las relaciones de la biología con la física y a la naturaleza de las explicaciones biológicas se ha hecho cada vez más complejo y se ha reavivado debido al desarrollo de la biología molecular, por lo que autores como Sarkar (1991) señalan que es importante distinguir entre estrategias de investigación y explicación. Además, Mayr (1982), Sarkar (1991) y Feltz (1995), entre otros, defienden la importancia de una taxonomía de los modelos de reduccionismo que reconoce al menos la existencia de modelos de tipo ontológico, teórico y explicativo o mecanicista. Esta taxonomía ha sido utilizada en el presente artículo y se ha hecho ver su pertinencia para analizar el caso del debate sobre la reducción de la genética la biología molecular. Además, se ha argumentado a favor de un análisis filosófico que se acerque a las prácticas y resultados concretos de la ciencia, en contra de un análi-

sis formal (o estructural, como lo llama Wimsatt) y atemporal (como lo califica Hull). Más aún, hemos señalado que la referencia a los orígenes históricos y culturales de un área de investigación como la biología puede enriquecer la comprensión de los términos en que se libra el debate científico y filosófico.

Por ejemplo, respecto a la distinción entre estrategia de investigación y explicación, está claro que desde sus inicios como parte del proyecto de la Ciencia del Hombre el apoyo a la investigación molecular de la biología buscaba *reducir* grandes problemas sociales y psicológicos a sus supuestas causas «fundamentales». Por ello se entendía buscar explicaciones en términos de dos ciencias probadamente exitosas: la física y la química. Sin embargo, como vimos que lo reconoce Schaffner (1974), esto no condujo a que los científicos se preocuparan por encontrar una teoría molecular de la cual derivar las leyes de la herencia de Mendel o la teoría genética clásica. Más bien, como lo señalan Morgan en 1928 y Atsbury en 1938, se trata de una estrategia que busca encontrar la unidad de los procesos orgánicos en la articulación de las moléculas de la célula. Por lo mismo, se trata de una estrategia que requiere de la labor inter y multidisciplinaria, así como del auxilio de técnicas y artefactos tecnológicos con los cuales investigar a los seres vivos a nivel sub-celular. Asimismo, hoy en día vemos que dicha estrategia continúa reproduciendo las expectativas culturales que se tienen respecto a proyectos como el del Genoma Humano, pese a que los propios hallazgos de la biología molecular marquen las severas limitaciones de la idea de que se pueden solucionar de manera sencilla los complejos problemas médicos a los que se enfrenta el ser humano, por no mencionar problemas de carácter psicológico o social (Kitcher 1997).

Por otra parte, las explicaciones que genera este tipo de estrategia varían de acuerdo con las diferentes etapas históricas de la biología molecular, enfatizándose los aspectos tridimensionales y la especificidad de las proteínas en la primera etapa, y los aspectos informacionales de los ácidos nucleicos en la segunda. La segunda etapa, hay que decirlo, se caracteriza también por un reforzamiento del determinismo biológico asociado erróneamente a las explicaciones geneticistas o moleculares, a partir de la idea de que el código genético determina todo el desarrollo del organismo. Una vez más, recordemos que dicha concepción determinista formaba parte de las expectativas de una explicación molecular de los seres vivos. En ambas etapas, sin embargo, destaca la construcción de explicaciones por mecanismos y la ausencia de leyes y teorías, en contra de lo que sugiere la concepción formalista de la ciencia. Por ello los modelos de reducción explicati-

va, como los defendidos por Kauffman y Wimsatt, resultan más adecuados que los modelos de reducción teórica al referirse al caso de la biología molecular.

Por último, vale enfatizar que los modelos de Kauffman y Wimsatt nos permiten relacionar el análisis filosófico con otras perspectivas en el estudio de la ciencia. Ambos modelos reconocen la importancia de los aspectos pragmáticos de la explicación científica, esto es, el hecho de que una explicación satisfactoria siempre lo es con respecto a determinado contexto y problema; sin que ello quiera decir que cualquier explicación es aceptable. Si bien ambos análisis reconocen el valor y la función de las estrategias y las explicaciones reduccionistas, la propuesta de Wimsatt es particularmente valiosa para distinguir entre explicaciones reduccionistas y geneticistas, y entre reduccionismo y determinismo, cuestiones que en la actualidad tienen gran importancia para los numerosos debates a los que debe enfrentarse la bioética. Así, por ejemplo, aunque podemos reconocer el éxito de la estrategia de investigación reduccionista en biología, ello no quiere decir que todas las baterías y recursos de la investigación debieran enfilarse hacia la comprensión del nivel genético. Problemas importantes de la medicina, como el de la relación entre el sistema inmune y el sistema nervioso, pueden ser atacados mediante una estrategia reduccionista sin que ello requiera realizar un análisis genético. Y, como lo muestra con numerosos ejemplos el libro de Kitcher (1997), el que una enfermedad tenga un origen genético no quiere decir que su desarrollo sea predecible o inevitable; terapias distintas pueden utilizarse o idearse para evitar las peores consecuencias de algunas de ellas (por ejemplo, la fenilcetonuria), pero no de todas (por ejemplo, el síndrome de Lesch-Nyhan, que no sólo produce retardo mental sino un impulso incontrolable hacia la automutilación). Y, más aún, existen los casos intermedios en que la enfermedad no aparece sino en la juventud y actualmente se hacen esfuerzos para detener sus efectos (por ejemplo, el mal de Huntington). Contar con esta información es relevante cuando se discuten asuntos de implicaciones sociales y éticas tan profundas como el del aborto.

BIBLIOGRAFÍA

Abir-Am, P. G. (1982), «The Discourse of Physical power and Biological Knowledge in the 1930s: A Reappraisal of the Rockefeller's Foundation Policy in Molecular Biology»: *Social Studies of Science* 12, 341-382.

Davidson, D. (1970), «Mental Events», en S. Foster *et al.* (eds.), *Experience and Theory*, University of Massachussetts, Amherst, 79-101.

Feltz, B. (1995), «Le réductionnisme en biologie. Approches historique et épistémologique»: *Revue Philosophique de Louvain* 93 (1-2), 9-32.

Feyerabend, P. K. (1962), «Explanation, Reduction and Empiricism»: *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* 3, 28-97.

Fodor, J. (1974), «Special Sciences (or: The Disunity of Science as a Working Hypothesis)»: *Synthese* 28, 97-115.

Fox-Keller, E. (1990), «Physics and the Emergence of Molecular Biology: a History of Cognitive and Political Synergy»: *Journal of the History of Biology* 3 (2), 389-409.

Hull, D. L. (1972), «Reduction in genetics – Biology or Philosophy?»: *Philosophy of Science* 39, 491-499.

Hull, D. L. (1974), *Philosophy of Biological Science*, Prentice Hall, Englewood-Cliffs.

Hull, D. L. (1976), «Informal Aspects of Theory Reduction»: *Boston Studies in the Philosophy of Science* 32, 653-670.

Hull, D. L. (1981), «Reduction and Genetics»: *The Journal of Medicine and Philosophy* 6, 125-143.

Kauffman, S. A. (1971), «Articulation of Parts Explanation in Biology and the Rational Search for Them», en R. C. Buck y R. C. Cohen (eds.), *PSA-1970*, *Boston Studies in the Philosophy of Science* 8, 257-272. [Traducción castellana: S. A. Kauffman (1998), «La explicación por articulación de partes en la biología y su búsqueda racional», en A. Barahona y S. Martínez (comps.), *Historia y Explicación en Biología*, Fondo de Cultura Económica, México, 42-60.]

Kay, L. E. (1993), *The Molecular Vision of Life*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Kay, L. E. (2000), *Who wrote the book of Life? A History of the Genetic Code*, Stanford University Press, Stanford.

Kitcher, P. (1982), «Genes»: *British Journal for the Philosophy of Science* 33, 337-359.

Kitcher, P. (1984), «1953 and All That: A Tale of Two Sciences»: *Philosophical Review* 93, 335-373.

Kitcher, P. (1997), *The lives to come. The genetic revolution and human possibilities*, Simon and Schuster, New York. [Traducción castellana: *Las vidas por venir* (2002), UNAM, México.]

Kohler, R. E. (1991), *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists 1900-1945*, The University of Chicago Press, Chicago.

Lewontin, R. C. (1991), *Biology as Ideology*, Harper/Perennial, New York.

Mayr, E. (1982), *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Morange, M. (1998), *A History of Molecular Biology*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Nagel, E. (1949, 1961), *The Structure of Science*, Harcourt, New York.

Olby, R. (1988), «The molecular revolution in biology», en R. C. Olby *et al.* (comps.), *Companion to the History of Modern Science*, Routledge, London, 503-520.

Rosenberg, R. (1985), *The structure of Biological Science*, Cambridge University Press, Cambridge, Mass.

Sarkar, S. (1989), «Reductionism and Molecular Biology: A Reappraisal», tesis doctoral, Department of Philosophy, University of Chicago.

Sarkar, S. (1991), «Models of Reduction and Categories of Reductionism»: *Synthese* 91, 167-194.

Schaffner, K. (1967), «Approaches to Reduction»: *Philosophy of Science* 34, 137-147.

Schaffner, K. (1969), «The Watson Crick Model and Reductionism»: *British Journal for the Philosophy of Science* 20, 325-348.

Schaffner, K. (1974), «The peripherality of Reductionism in the Development of Molecular Biology»: *Journal for the History of Biology* 7, 111-129.

Schaffner, K. (1993), «Theory Structure, Reduction and Disciplinary Integration in Biology»: *Biology and Philosophy* 8 (3), 319-347.

Suárez, E. (2000), «El organismo como máquina: Descartes y las explicaciones biológicas», en C. Álvarez y R. Martínez (comps.), *Descartes y la ciencia del siglo XVII*, Siglo XXI/UNAM, México, 138-159.

Suárez, E. y Martínez, S. F. (1998), «El problema del reduccionismo en biología: tendencias y debates actuales», en S. Martínez y A. Barahona (comps.), *Historia y Explicación en Biología*, UNAM/Fondo de Cultura Económica, México.

Wimsatt, W. C. (1976*a*), «Reductionism, levels of Organization and the Mind-Body Problem», en G. Globus, I. Savodnik y G. Maxwell (eds.), *Consciousness and the Brain*, Plenum, New York, 199-227.

Wimsatt, W. C. (1976*b*), «Reductive Explanation: A Functional Account», en R. S. Cohen *et al.* (comps.), *PSA-1974*, 671-710. [Publicado también en E. Sober (comp.) (1984), *Conceptual Issues in Evolutionary Theory*, MIT Press, Cambridge, Mass., 477-507.]

CEREBRO, MENTE Y CONDUCTA EN EL SIGLO XXI: UN UNIVERSO DENTRO DE NOSOTROS

Feggy Ostrosky-Solís

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la ciencia ha logrado avances espectaculares en diferentes áreas del conocimiento tales como la física, la química, la astronomía, la biología, la neurología y la psicología, entre otras. Estos avances han permitido al ser humano contemporáneo vivir en mejores condiciones que las que ha tenido en todo el resto de su historia. Vivimos en el mundo de la informática, los viajes espaciales y los avances genéticos. Nuestro conocimiento del cerebro también ha progresado significativamente y hoy entendemos mejor cómo se producen el lenguaje, el reconocimiento del mundo, el pensamiento, la memoria, los sueños y la tristeza. Cada vez los progresos en la rama del conocimiento conocida como neurociencia nos han enseñado que nuestra actividad «mental» y el comportamiento surgen de una parte especializada del cuerpo: nuestro cerebro.

El objetivo de la neurociencia es precisamente el estudio del cerebro y de la actividad cerebral. El enfoque del estudio puede ser el nivel molecular intra e interneuronal y/o el nivel integrativo o global en el que se analizan conexiones, redes neuronales y comportamientos. También es posible visualizar la actividad mental como los eventos que ocurren en un tiempo tan breve como milisegundos, que es el tiempo que transcurre cuando una neurona se comunica con otra, o tan largo como lo que sucede a través de toda una vida.

Las neurociencias están conformadas por un número de disciplinas interrelacionadas que estudian el funcionamiento del cerebro a distintos niveles y con distintas ramas de especialización. De forma muy general se pueden dividir las neurociencias en dos ramas: neu-

rociencias básicas y neurociencias de las conductas y/o cognitivas. Las neurociencias básicas estudian los aspectos biológicos de forma directa, y dentro de éstas se encuentran por ejemplo la neurobiología, la neurofiosiología y la neuroquímica, mientras que el enfoque de las neurociencias de la conducta y las neurociencias cognitivas es más integrativo y estudian la relación entre la organización y el funcionamiento cerebral y los procesos cognitivos y la conducta humana.

Gracias a los conocimientos adquiridos a través de la neurociencia, actualmente sabemos que el cerebro humano contiene unos cien mil millones de células llamadas neuronas, que están unidas en redes que dan lugar a diversos procesos cognoscitivos, como la memoria, la inteligencia, la emoción y la personalidad. También hay trillones de células gliales (del griego *glia*, «liga») que forman una red que alimenta y protege a las neuronas. Lo que determina las características mentales no es la cantidad de neuronas sino el cómo están conectadas. Las células se conectan por medio del axón y reciben información a través de las dendritas. La zona de contacto entre dos neuronas se denomina sinapsis. Las neuronas se comunican a través de substancias químicas (neurotransmisores) e impulsos eléctricos. Los neurotransmisores son sustancias que produce una célula nerviosa y que son capaces de alterar el funcionamiento de otra célula de manera breve o durable, por medio de la ocupación de receptores específicos. A través de técnicas de microscopio electrónico y de histoquímica se han identificado vías nerviosas que tienen neurotransmisores específicos. Se han descrito más de cincuenta neurotransmisores que modulan la interconexión entre las neuronas, como por ejemplo la acetilcolina, que se ha relacionado con funciones ligadas a la memoria, mientras que la dopamina está ligada a funciones de control motor y centros que regulan el placer y el dolor. La serotonina está relacionada con el sueño y la regulación del estado de ánimo. Cada neurona está conectada con cientos de neuronas por medio de mil a diez mil sinapsis. Se estima que se tardaría 32 millones de años en contar las sinapsis que se encuentran en la corteza cerebral.

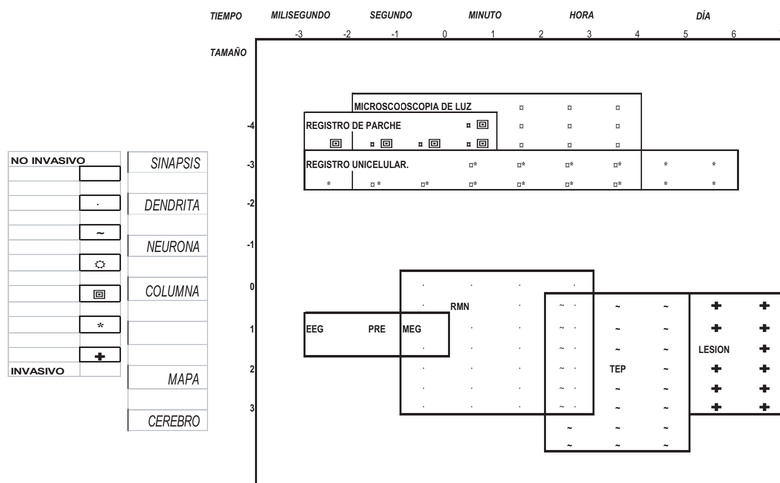
Por otra parte, a través de los sentidos recibimos información visual, táctil, auditiva, olfativa y gustativa que llega a regiones específicas de la corteza cerebral. Por ejemplo, la corteza auditiva primaria —localizada en el lóbulo temporal— procesa los sonidos, la corteza primaria visual —localizada en el lóbulo occipital— procesa las imágenes registradas por el ojo, receptores localizados en la nariz registran los olores y los envían a la corteza olfatoria y las sensaciones táctiles son detectadas por la piel y enviadas para su procesamiento a la corteza somatosensorial de las regiones parietales. Una vez que se recibe y procesa la información en cada una de las modalidades, la me-

moria permite el registro de lo que el sujeto recibe, el almacenamiento o conservación de esta información y la evocación o recuperación de la huella de memoria.

Una de las características más importantes del cerebro humano es la *plasticidad*, es decir, su capacidad para cambiar. La plasticidad cerebral es una característica única, ya que sin ella el cerebro no podría ajustarse a los cambios que ocurren tanto en las condiciones medioambientales como a través del tiempo. Sin la plasticidad, el funcionamiento del cerebro sería similar al de una máquina, o sea, una estructura con capacidades muy limitadas de adaptación al medio ambiente. La plasticidad es más evidente durante la infancia. Así, en el útero materno, un número limitado de células aumentan de tamaño y complejidad hasta convertirse en células que interactúan entre ellas y con el medio ambiente. Las neuronas recién formadas establecen conexiones, las cuales se multiplican a lo largo de toda la vida. La experiencia aporta el substrato para la formación de conexiones y la transformación de estas conexiones en circuitos, por lo que al cambiar la experiencia cambiamos nuestro cerebro. La plasticidad se mantiene a lo largo de toda la vida. Gracias a la plasticidad, el cerebro posee capacidades sorprendentes de adaptación y de recuperación.

A pesar de que la fascinación del ser humano por el cerebro data de hace miles de años, su conocimiento ha dependido de las herramientas con las que el ser humano ha contado para desarrollar y amplificar sus sentidos para el estudio del mismo. En las dos últimas décadas se han desarrollado nuevas técnicas que han permitido ahondar en el estudio de la relación entre el cerebro y la actividad mental. Cada una de estas técnicas ofrece ventajas y desventajas que varían de acuerdo con la resolución temporal, la resolución espacial y el grado de invasividad (en el sentido de invasión del organismo, desde la simple inyección hasta la cirugía mayor). La resolución temporal se refiere a la capacidad para detectar fenómenos dinámicos que cambian en el tiempo, desde la milésima de segundo hasta la hora o los días. La resolución espacial se relaciona con la sensibilidad de la técnica para detectar dimensiones pequeñas, desde la milésima de milímetro (la micra = μm) hasta el centímetro. El grado de invasividad nos indica la necesidad de inyectar o no una sustancia al organismo, practicar incisiones, hacer cortes o producir lesiones. En la figura 1, se muestra esquemáticamente la utilidad de algunas técnicas de acuerdo con los tres factores básicos de utilidad arriba mencionados.

En el umbral del siglo XXI disponemos de técnicas que nos permiten explorar el interior de cerebros vivos y estudiar su funcionamiento con un grado mínimo de invasividad. Por increíble que parez-



Adaptado de Posner y Marcus 1995

Figura 1. Técnicas para el estudio de la función cerebral: resolución temporal y resolución espacial. En la ordenada, se encuentra el tiempo, desde milésimas de segundo hasta días, y en las abscisas, el espacio o tamaño, desde milésimas de milímetro hasta decenas de centímetros. También se muestran con diferentes claves el grado de invasividad, para cuyo estudio tanto hay que penetrar en el tejido nervioso, desde el electroencefalograma (EEG), en el que se colocan electrodos en la superficie del cuero cabelludo, hasta las lesiones. Si se desea analizar fenómenos muy rápidos, las técnicas disponibles son las que registran la actividad eléctrica, desde dendritas o axones, hasta el EEG. Las técnicas de neuroimagen tienen una pobre resolución temporal, pero una buena resolución espacial, ya que apreciamos lo que sucede en diferentes áreas de la corteza cerebral.
PRE = Potenciales relacionados con eventos, MEG = magnetoencefalografía, RMN = Resonancia magnética nuclear, TEP= Tomografía por emisión de positrones

ca, en los últimos diez años hemos aprendido más sobre la mente humana que en los veinte siglos anteriores.

Los avances relacionados con el estudio del cerebro son múltiples y variados. Por ejemplo:

— Con ayuda de nuevas tecnologías, científicos de todo el mundo intentan localizar la actividad cerebral que crea experiencias específicas (incluyendo emociones como el amor, el odio, el miedo) y, en general, entender la relación entre la mente y el cerebro.

— En la actualidad es posible localizar y ver físicamente lo que sucede en el cerebro de personas deprimidas, estudiar las bases biológicas de la violencia y conocer mejor el origen de enfermedades degenerativas, como la del alzheimer o el mal de Parkinson. Los resultados promueven la salud pública y aumentan la calidad y la expectativa de vida del ser humano.

— La ciencia moderna ha dejado de atribuir las enfermedades de la mente a causas sobrenaturales. La locura ya no se explica como posesión diabólica o como producto de una piedra en la cabeza. En la actualidad, los trastornos mentales se estudian a partir de sus bases bioquímicas y neuroanatómicas. Entender la patofisiología de estas enfermedades ayuda a diagnosticarlas mejor, así como a desarrollar tratamientos más efectivos y, en el futuro, quizás a prevenirlas.

— Al contrario de lo que un viejo dogma afirmaba, descubrimientos recientes evidencian que las neuronas del cerebro adulto sí pueden regenerarse después de una lesión o una enfermedad. La capacidad de autorreparación de este órgano implica una esperanza para el tratamiento de embolias y enfermedades degenerativas, e incluso abre la posibilidad de recrear partes del cerebro.

— Otros hallazgos se relacionan con la memoria y sus alteraciones: cómo almacena información nuestro cerebro y cómo este conocimiento nos puede ayudar a mejorar la administración y evocación de la información. Para ilustrar estos aspectos y debido a limitaciones de espacio, en este capítulo se revisan únicamente los hallazgos sobre la neurobiología de la memoria; sin embargo, día a día las neurociencias descubren las redes neuronales, los neurotransmisores y las moléculas que caracterizan otras esferas de nuestro comportamiento como el miedo, la tristeza, el enojo, el amor, el juicio y la sensibilidad moral, la inteligencia y la creatividad. El lector interesado en profundizar en estos otros temas podrá consultar las referencias bibliográficas que se presentan al final.

Cuando algo marcha mal con el crecimiento, desarrollo y/o estimulación del cerebro, ocurren condiciones patológicas que afligen al ser humano. Shakespeare, a finales del siglo XVII, habló del cerebro como «la frágil morada del alma». Esta frase señala que existe una línea muy tenue entre la salud mental y la enfermedad. Así podemos decir que todos experimentamos tristeza y preocupación, pero cuando éstas son excesivas e inapropiadas a las circunstancias es cuando pasamos de lo normal a lo patológico. La profundización en la naturaleza y el funcionamiento de los circuitos neuronales que modulan nuestra conducta en condiciones normales podrá ayudar a determinar los procesos cerebrales que dan origen a sus alteraciones, como sucede en el caso en el que conductas normales y adaptativas se convierten en patologías que nos atormentan. Así sucede, por ejemplo, cuando el miedo se convierte en fobia, la tristeza en depresión, el enojo en ira, el amor en odio, la memoria en amnesia, o la sensibilidad moral en egoísmo, falta de empatía y de tolerancia. Sin duda el conocimiento de la «normalidad» ayudará a utilizar nuestras capacidades de

manera más eficiente y facilitará el diseño de nuevas terapias para cuando se requiera la rehabilitación.

En los siguientes párrafos describimos el sorprendente fenómeno de la memoria, cómo se forma, en dónde se encuentra, cómo cambia con la edad, los factores que afectan al proceso de la memoria, cuándo falla y los recientes hallazgos sobre las moléculas de la memoria y su manipulación genética. Concluimos con las direcciones futuras en la investigación de las bases biológicas de la conducta humana.

2. ¿QUÉ ES LA MEMORIA?

La memoria tiene una importancia fundamental en la vida de todo ser vivo. Para poder sobrevivir, los insectos y animales como mariposas, abejas y pájaros, poseen una serie de conductas que dependen de reacciones programadas por estímulos externos, codificadas por los genes e impresos en el sistema nervioso. En los organismos más complejos, como el ser humano, se necesita mayor versatilidad para enfrentar situaciones poco frecuentes; por lo tanto, para aprender necesitan almacenar y evocar la información.

En el ser humano la memoria es la historia de su experiencia personal, es el pegamento que une su existencia mental y le permite crecer y cambiar a través de la vida. Cuando perdemos la memoria, como sucede en la enfermedad de Alzheimer, perdemos la habilidad para recrear nuestro pasado y, como resultado, perdemos también la conexión con nosotros mismos y con los otros. Además, el aprendizaje y la memoria trascienden al individuo para transmitir la cultura y la civilización de generación en generación. Es una fuerza decisiva en la evolución cultural y social, así como del comportamiento.

Desde el punto de vista psicológico, la memoria es la habilidad para registrar y almacenar o guardar la experiencia. Es el proceso a través del cual el aprendizaje persiste y nos permite aprender de la experiencia sin que necesitemos repetirla.

En nuestra vida cotidiana la memoria es muchas cosas diferentes; por ejemplo, es la imagen que nos viene a la mente cuando pensamos en la casa que habitábamos cuando éramos pequeños, es la habilidad para andar en bicicleta sin pensar en cómo lo hacemos, es el sentimiento de angustia cuando pensamos en algo que nos asustó, es utilizar una ruta familiar y el conocimiento de que la aspirina sirve para quitar el dolor de cabeza. Por esta complejidad se dice que la memoria no es una función unitaria, sino un proceso complejo y multifacético. Cada experiencia se almacena y se evoca de forma diferente.

En el cerebro, una docena de áreas diferentes están involucradas en cada tipo de memoria, aunque mantienen una interacción de redes complejas.

3. FORMACIÓN DE UNA MEMORIA

El cerebro humano puede conservar billones de impresiones, algunas momentáneas y otras que duran toda la vida. A estas impresiones les llamamos memorias. Vivimos rodeados continuamente de sonidos y estímulos visuales, pero la mayor parte de éstos los desechamos inmediatamente. No necesitamos registrarlos. Sin embargo, cuando le prestamos atención a una impresión sensorial, ésta entra en una segunda etapa conocida como memoria a corto plazo. Cada fragmento de información que es percibido se envía a un almacén específico de nuestra biblioteca interna. Durante la noche, cuando el cuerpo descansa, estos fragmentos son recuperados del almacén, reagrupados y repasados. Cada repaso provoca que se delineen más profundamente en la estructura neuronal, hasta que llega un momento en que las memorias y la persona que las mantiene se vuelven uno mismo.

4. ¿EN DÓNDE ESTÁ LA MEMORIA?

La memoria no reside en una parte concreta del cerebro, sino que resulta de un esfuerzo creativo conjunto realizado por neuronas versátiles que funcionan en equipo, comunicándose mediante sinapsis y sustancias neurotransmisoras.

La memoria es una facultad mental en la que participan moléculas, células, sistemas cerebrales y conductas.

Lo que pasa cuando el cerebro forma nuevas memorias es conocido como plasticidad. Es obvio que algo cambia en el cerebro cuando aprendemos y recordamos nuevas cosas; sin embargo, no cambia su estructura general sino las conexiones entre las células y especialmente la fuerza de su conexión. Cuando escuchamos una palabra muchas veces, la activación repetida de ciertas células en un cierto orden hace más fácil su repetición posteriormente. Es el patrón sincrónico lo que representa cada memoria específica.

En el cerebro tienen lugar cambios en la sinapsis, que es el punto de comunicación entre las neuronas. Los recuerdos no se almacenan dentro de las células, lo que se modifica es la eficacia de la sinapsis entre las neuronas y la estructura espacial de las redes neuronales im-

plicadas. Dependiendo del grado de activación, algunas sinapsis desaparecen, mientras que otras quedan reforzadas e incluso surgen nuevos contactos sinápticos. La configuración de estos cambios neuronales representa el recuerdo de la experiencia.

La mayoría de los recuerdos consisten en un grupo de elementos dispersos que se sincronizan. Lo que aparentemente es una memoria simple en realidad es una construcción muy compleja. Si se piensa por ejemplo en «un gato», se recuerda la forma, el nombre, su apariencia, su olor y el sonido de su voz. Desde el punto de vista del procesamiento, cada pieza de información se extrae de diferentes partes del cerebro. Cuando fallamos al conectar el nombre de una persona con su cara, es cuando experimentamos el desequilibrio o el rompimiento del proceso de este maravilloso ensamblaje automático. Muchos de nosotros lo empezamos a experimentar a los veinte años de edad, pero nos atormenta más cuando llegamos a los cincuenta.

La consolidación de la memoria depende del hipocampo, una estructura que está por debajo de los lóbulos temporales. Durante este tiempo, el hipocampo mantiene y registra la memoria, está conectado con diferentes partes de la corteza y se mantiene activado. La destrucción del hipocampo tendría efectos devastadores en la persona, pues no podría almacenar nuevas memorias.

Los episodios destinados a la memoria a largo plazo se envían al hipocampo desde la corteza, donde son registrados como patrones neuronales debido a que el hipocampo está conectado en formas diferentes con áreas corticales y es capaz de hacer una representación global de un suceso. Por ejemplo, si tuvimos una experiencia romántica en la playa, el sonido de la música, el sabor del vino, la vista del mar y el conocimiento de dónde y cuándo sucedió se almacenan para crear un episodio completo más que una colección de impresiones de datos aislados. El hipocampo es el encargado de reunirlos y repasarlos varias veces.

Lo vivido se repasa muchas veces cuando dormimos, y esto podría explicar por qué se entrometen los eventos del día durante el sueño. Cada repaso envía nuevos mensajes a la corteza, donde cada elemento de la escena fue registrado originalmente. Esta regeneración del patrón original los almacena más profundamente en el tejido cortical, protegiéndolos de degradación hasta que las memorias quedan grabadas. También quedan unidos independientemente del hipocampo. Esta unión hace que un solo evento llame o active los demás. El sonido de una música particular activa toda la memoria. Una vez que ya quedó guardado en la memoria semántica o episódica, ya no es necesario el hipocampo para evocarlo. El traer un dato antiguo a la men-

te activa las áreas temporales y frontales. El lóbulo temporal guarda hechos y lenguaje, mientras que las regiones frontales llevan las memorias a la conciencia.

Los episodios que van a quedar almacenados en la memoria a largo plazo no se almacenan directamente. El proceso de almacenarlos exige tiempo: si es en forma permanente puede ser de dos años, hasta entonces son frágiles y pueden ser fácilmente borrados.

5. CAMBIOS DE LA MEMORIA CON LA EDAD

Con el paso de los años, la memoria sensorial no se altera: podemos registrar información por medio de los sentidos igual que cuando somos jóvenes; la memoria a corto plazo también es muy parecida (podemos marcar igual el teléfono).

Con la edad, los problemas de memoria que tienen las personas son principalmente de evocación, es decir, presentan dificultades para recuperar la información cuando lo desean. Por ejemplo: «conozco el nombre de la medicina, pero no puedo recordarlo en este momento». Sin embargo, la mayor parte de las personas no describen problemas con el reconocimiento y frecuentemente señalan que cuando ven o escuchan pueden reconocer la información.

Es conocido que ciertos factores pueden afectar al proceso de memoria en las personas de cualquier edad. Sin embargo, el impacto de aquéllos puede aumentar a medida que envejecemos; esto se debe a que cuanta más edad tengamos, podemos experimentar más de uno de estos factores al mismo tiempo.

Los problemas de memoria se deben a cambios en los siguientes procesos:

1) Atención dividida: Nos cuesta más trabajo prestar atención a dos cosas a la vez

2) Nuestra capacidad para aprender nueva información. Necesitamos de más esfuerzo para recibir información.

3) Recuperar. Es más difícil acceder a nombres familiares y vocabulario.

4) Evocar. Se requiere más tiempo recuperar la información de la memoria a largo plazo.

6. FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE MEMORIA EN TODAS LAS EDADES

Con los años, se pueden manifestar trastornos en la memoria debidos a cambios neuronales en el cerebro (placas, nudos) y por diferencias de procesamiento. También es posible que se afecte la transmisión de información entre las neuronas (por fallos en los neurotransmisores, como acetilcolina) y que se presenten deficiencias de atención por alteraciones de los lóbulos frontales. El aumento de la edad trae consigo muchas causas de deterioro de las neuronas: uso de fármacos, enfermedades crónicas, depresión, alcoholismo, vida sedentaria, presión alta, falta de estimulación, falta de deseo para aprender, desnutrición y exceso de grasa, por mencionar sólo algunas.

7. ¿CUÁNDO FALLA LA MEMORIA?

La memoria es una de las funciones cognoscitivas más sensibles al daño cerebral. Por ejemplo, la amnesia es una pérdida parcial o total de la memoria, es decir, una incapacidad para recuperar la información. Los trastornos de la memoria pueden ser desde la simple pérdida de detalles mínimos en la capacidad evocativa, hasta casos severos en los que no sólo se ve afectada la posibilidad de recuperar información, sino que incluso se pierde toda noción de haber estado expuesto a ella.

Es importante enfatizar que en la memoria intervienen diversos procesos que deben estar intactos para que ésta ocurra normalmente. Por ejemplo, es necesaria una atención adecuada para que se puedan registrar los datos. Los trastornos en la atención se producen por un estado de confusión y una imposibilidad para recordar. Las personas somnolientas, deprimidas o ansiosas pueden tener dificultades para almacenar y recuperar información.

8. DEMENCIAS

Uno de los trastornos neuropsicológicos sobresalientes de las demencias en general son las alteraciones en los procesos de la memoria. En las llamadas demencias corticales, como la enfermedad de Alzheimer, la pérdida de la memoria para hechos recientes es el trastorno más precoz y prominente. Estas perturbaciones se acentúan de manera progresiva y se acompañan de desorientación espacio-temporal y desintegración general de los procesos cognoscitivos. Se ha sugerido que

estos pacientes tienen una capacidad de almacenamiento disminuida y una tasa de olvido más alta que la de los ancianos normales. En pruebas de retención de palabras, la curva de memorización y la evocación diferida son muy pobres y señalan, además de la afección en la memoria de corto plazo, una grave alteración en la memoria de largo plazo o incapacidad para almacenar información.

Los adultos normales se pueden quejar de pérdida de la memoria, sobre todo si se encuentran desarrollando trabajos con alta demanda intelectual. ¿Cómo podemos saber si la pérdida de memoria es algo más serio que un simple problema asociado con la edad? En la lista siguiente se señalan algunas diferencias que nos pueden ayudar.

— La demencia es una enfermedad progresiva. En los problemas de memoria asociados con la edad, la pérdida de memoria permanece estable.

— Las personas normales pueden compensar la pérdida de memoria con claves y notas. Los trastornos de memoria asociados a la demencia interfieren con la actividad diaria.

— En la enfermedad de Alzheimer quedan afectados muchos tipos de memoria: incluyendo el uso de las palabras, la solución de problemas, la orientación en el espacio y el uso de razonamiento y juicio. Además, se presentan cambios en el estado de ánimo y la personalidad.

— Es importante enfatizar que hay más de treinta condiciones que pueden producir un cuadro demencial y que algunas de ellas son tratables, por ejemplo, las demencias asociadas a depresión, deficiencias de nutrición y vitaminas, interacción e intoxicación con fármacos, desequilibrio tiroideo, algunas infecciones, tumores, embolias o aumento de líquido cefalorraquídeo en el cerebro.

9. ESTUDIOS A NIVEL MOLECULAR DENTRO Y ENTRE LAS NEURONAS. CREACIÓN DE RATONES TRANSGÉNICOS CON MEMORIAS EXTRAORDINARIAS

La mayoría de las memorias consisten en un grupo de elementos dispersos que se sincronizan y lo que aparentemente es una memoria simple en realidad es una construcción muy compleja. Así por ejemplo la palabra «gato» evoca actividad en la corteza visual para recordar cómo se ve, de la corteza táctil para recordar cómo se siente y de la corteza auditiva para recordar cómo se oye. Los investigadores han postulado que «algo» en el cerebro debe estar actuando como un detector de coincidencia entre las neuronas que se encuentran disparando simultáneamente y coordinando dos conjuntos diferentes de

información y esto ocurre a nivel de las moléculas que se encuentran al interior de las neuronas. La molécula que podría ser el detector de coincidencia es el N-Metil-D-Aspartato (NMDA); esta substancia se encuentra en la terminal de las dendritas, esperando responder a las señales que llegan. Como otras moléculas receptoras el NMDA reacciona a señales químicas, en el caso de la memoria y aprendizaje al glutamato, un aminoácido, emitido por el axón de células vecinas. A diferencia de otros receptores el NMDA no encuentra que esta señal sea suficiente y necesita recibir también una señal eléctrica de sus propias células. Sólo cuando ambas células están platicando al mismo tiempo los receptores de NMDA se prenden permitiendo entonces que entren iones de calcio a la célula huésped, lo que facilita que la célula se prenda o encienda más fácil la próxima vez. Este fenómeno, conocido como «potenciación a largo plazo», es la esencia de un tipo de formación de memoria.

Si se bloquean los receptores de NMDA, se bloquea la memoria o en el ámbito genético, se producen trastornos en el aprendizaje o amnesia mientras que administrar drogas que estimulan al receptor mejora la memoria.

Recientemente los investigadores se enfocaron en un receptor específico de NMDA que es el NR2B, muy activo en animales jóvenes (que son muy buenos para el aprendizaje) y menos activo en adultos (menos buenos para el aprendizaje) que se encuentra en el hipocampo y en el cerebro anterior (donde se forman memorias explícitas y a largo plazo). En el Laboratorio de Biología molecular de la Universidad de Princeton, en New Jersey (Estados Unidos), los investigadores aislaron el gen que crea el NR2B y lo introdujeron en el DNA de embriones de ratón ordinario para crear la cepa llamada *Doggie*. Estos ratones tienen una copia extra de un gen que codifica una proteína que puede facilitar la comunicación entre neuronas, y muestran memorias extraordinarias, ¡pues aprenden y recuerdan la información en un solo ensayo! Las implicaciones de estos maravillosos hallazgos es la posibilidad de crear fármacos que incrementen la actividad del gen NR2B y por lo tanto abre la posibilidad de crear nuevas terapias para problemas de aprendizaje y problemas de memoria como los que padecen los enfermos con Alzheimer.

10. DIRECCIONES FUTURAS

Al igual que en la memoria, en toda actividad mental humana, incluyendo sentimientos, emociones y pensamientos, participan molécu-

las, células, sistemas cerebrales y conductas. La investigación en el campo de las neurociencias tanto a nivel molecular como a nivel integrativo es crucial para entender tanto la conducta normal como el caso de patologías.

Las técnicas de neuroimagen y la valoración neuropsicológica pueden diagnosticar las enfermedades, examinar su historia natural y distinguirlas de otras enfermedades que pueden o no ser tratables. Estos métodos también permitirán evaluar la respuesta a nuevos tratamientos e identificar personas en riesgo de padecer enfermedades, para iniciar tratamientos profilácticos.

Las investigaciones a nivel molecular podrán ayudar a desarrollar fármacos efectivos que aceleren la síntesis de neurotransmisores o disminuyan su descomposición para compensar su deterioro.

La investigación a nivel conductual también es crítica para el manejo de las alteraciones. Frecuentemente es necesario alterar el medio ambiente para compensar por la pérdida de las habilidades y así reducir el sufrimiento.

Hay quienes opinan que la ciencia se dirige solamente hacia nuestro conocimiento externo, por ejemplo a descubrir información acerca del mundo que nos rodea. Pero la ciencia también moldea el marco con el que miramos al mundo. Existe algo especial y diferente en el autoconocimiento, es decir, aprender y conocer acerca de nosotros mismos. Por ejemplo comprender cómo funcionan la memoria, el lenguaje y el pensamiento, así como saber cuáles son sus bases biológicas, nos enriquece al acercarnos a nuestro yo interno, mejora nuestra calidad de vida y, sin duda, nos humaniza. Por lo tanto, a pesar de que el conocimiento de las estrellas, los átomos o las especies tiene un impacto importante en nuestra visión del mundo, el conocimiento acerca de nosotros mismos tiene implicaciones inmediatas acerca de lo que valoramos, y nos ayuda a utilizar nuestras capacidades de manera más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

Ardila, A. y Ostrosky-Solís, F. (1991), *Diagnóstico del daño cerebral: Enfoque neuropsicológico*, Trillas, México.

Baddeley, A. D. (2000), *Short term and working memory*, en E. Tulving y F. I. M. Craik (eds.), *The Oxford Handbook of Memory*, Oxford University Press, New York.

Baddeley, A. D. y Hitch, G. (1974), *Working memory*, en G. A. Bower (ed.), *Recent advances in learning and motivation*, vol. 8, Academic Press, New York.

Carlesimo, G. A. (1999), *The rehabilitation of memory*, en G. Denes y L. Pizzamiglio (eds.), *Clinical and experimental neuropsychology*, Psychology Press, East Sussex, 887-897.
Gómez, E., Ostrosky-Solís, F. y Próspero-García, O., «Desarrollo de la atención, la memoria y los procesos inhibitorios: relación temporal con la maduración de la estructura y la función cerebral»: *Revista de Neurología* 37 (6), 561-566.
Higbee, K. L. (1996), *Your memory: How it works and how to improve it*, Marlowe, New York.
Ostrosky-Solís, F. (1998), «Cuando la memoria falla»: *Ciencias* 49, 30-35.
Ostrosky-Solís, F. y Gutiérrez-Vivo, J. (2002), *Toc-Toc: Hay alguien ahí*, Infored, México.
Ostrosky-Solís, F. y Lozano, A. (2003), «Rehabilitación Neuropsicológica de la Memoria»: *Revista Latinoamericana de Psicología*, 123-143.
Shiffrin, R. M. y Atkinson, R. C. (1969), «Storage and retrieval processes in long term memory»: *Psychological Review* 76, 179-193.
Squire, L. (1992), «Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys and man»: *Psychological Review* 99, 195-231.
Tulving, E. (1987), «Multiple memory systems and consciousness»: *Human Neurobiology* 6, 67-80.

BASES TEÓRICAS DE LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA EN LA PSICOLOGÍA*

Anna Estany

Explicar el entorno ha sido uno de los objetivos de los humanos y que ha funcionado como acicate para la supervivencia y conservación de la especie. Los fenómenos de la psique humana no han sido una excepción sino que, por el contrario, han despertado un interés especial que no ha ido parejo al desarrollo de la psicología científica. Si bien podemos encontrar a lo largo de la historia explicaciones de los fenómenos mentales, la psicología como ciencia surge en el siglo XIX, siendo W. Wundt el introductor del método experimental en psicología y el que sistematizó y dio autonomía a la disciplina. Desde Wundt las discusiones y los debates en psicología no han cejado y han dado lugar a varios paradigmas: el estructuralismo/introspeccionismo, el conductismo y la psicología cognitiva, aunque ha habido otros enfoques que han subsistido paralelamente a los paradigmas predominantes en cada momento.

El objetivo de este artículo es analizar las cuestiones más relevantes que la psicología tiene planteadas respecto a la explicación científica, partiendo de su historia. Centrar el análisis en la explicación científica tiene su razón de ser porque ésta es el alfa y el omega de la investigación científica, el alfa porque la búsqueda de explicación está en los orígenes de la ciencia y el omega porque la explicación engloba todo el conocimiento que tenemos de la realidad. Como cuestiones re-

* Este artículo se enmarca en el proyecto de investigación «Especialización de la ciencia. Estudios histórico-filosóficos sobre la formación y consolidación de las disciplinas científicas» (BFF 203-09579-C03-1) financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España; y en el proyecto sobre «Filosofía de las prácticas científicas» (41196H) financiado por la CONACYT (México).

levantes para la explicación científica voy a abordar, por un lado, los aspectos ontológicos y metodológicos de la psicología y, por otro, las formas de representar el conocimiento. Entre los aspectos ontológicos adquiere especial importancia el objeto de estudio de la psicología que gira en torno al estudio de la conciencia. Entre los aspectos metodológicos tenemos el problema del reduccionismo neurobiológico y la perspectiva evolucionista en la explicación científica de la mente.

Para todas estas cuestiones voy a dar una perspectiva histórica aunque el centro de gravedad está en las cuestiones más recientes que la psicología tiene planteadas. En este sentido no hay que olvidar que ésta forma parte del programa interdisciplinario de la ciencia cognitiva surgida en la década de los años sesenta como una alternativa al conductismo. Todas las disciplinas que forman parte de las ciencias cognitivas comparten determinados objetivos, problemática, objeto de estudio, metodología, etc., pero el marco interdisciplinario que han formado no ha supuesto una fusión total, por tanto, cada una de ellas mantiene sus peculiaridades y no podemos identificar la psicología con las ciencias cognitivas, a pesar de su estrecha relación.

A fin de delimitar los objetivos del artículo quiero señalar que no voy a abordar cuestiones propias de la filosofía de la mente, ya que, por un lado, van más allá de los objetivos propuestos y, por otro, ya existe un volumen de la enciclopedia dedicado a este tema.

1. EL OBJETO DE ESTUDIO DE LA PSICOLOGÍA: LA CONCIENCIA

Delimitar el objeto de estudio de una disciplina es el primer paso para la investigación científica. Esto significa determinar no sólo los fenómenos que se quiere explicar sino lo que debe estudiarse para explicar dichos fenómenos. En el caso de la psicología, a lo largo de la historia, los fenómenos psíquicos han sido abordados como facultades del alma, de la mente, del entendimiento y de la sensibilidad. Con el surgimiento de la psicología experimental, W. Wundt independiza la psicología de la filosofía y pone la psique en el laboratorio.

En esta búsqueda del objeto de estudio de la psicología ocupa un lugar preponderante la conciencia. En los dos últimos siglos podemos hablar de tres etapas que equivalen a lo que denomino (Estany 1999) vida, muerte y resurrección de la conciencia correspondiente al estructuralismo y funcionalismo, conductismo y cognitivismo, respectivamente. La historia de la psicología muestra cómo el posicionamiento respecto al estudio de la conciencia marca las diferencias entre los sucesivos paradigmas. Se aprecia también una continua tensión entre la metodología (rigor, base empírica, etc.) y la ontología (fenó-

menos básicos, campo de aplicación, etc.). La primera tensión con la que se enfrenta Wundt es entre seguir o no los dictámenes de los filósofos. Por un lado, Wundt insiste en que la filosofía ha hecho un magro favor a la psicología inmiscuyéndose en sus asuntos, pero, por otra, fueron filósofos como J. F. Fries (1773-1843), J. B. Herbart (1776-1841) y F. E. Bebeke (1798-1854) quienes defendieron la idea de que la psicología tenía que convertirse en una ciencia empírica, matemática y experimental. Wundt se encuentra en una encrucijada: por un lado, el idealismo alemán y, por otro, la tradición kantiana.

En el periodo que llamo vida de la conciencia hay dos enfoques fundamentales: el estructuralismo o introspeccionismo de W. Wundt y el funcionalismo de W. James. Pero también la Escuela de Wurzburgo y la psicología de la *Gestalt* tomaron la conciencia como objeto de estudio.

Según Wundt, «la psicología investiga los hechos de la conciencia, sus combinaciones y relaciones, con el objetivo último de descubrir las leyes que gobiernan estas combinaciones y relaciones» (Wundt 1912, 1)[1]. Determinar los elementos de la conciencia significa determinar la ontología teórica de la psicología. La combinación de estos elementos o sensaciones da lugar a los «compuestos» (*Gebilde*) y la combinación de éstos a los «agregados psíquicos» (*Gesamtvorstellung*), «una impresión mental completa y unificada». James, aunque comparte con Wundt que la conciencia es el objeto de estudio de la psicología, tiene una concepción significativamente distinta. Para James (*Principles of psychology*, 1890) la psicología es la ciencia de la vida mental. Sus fenómenos son los sentimientos, los deseos, los razonamientos, los hábitos, el pensamiento, la memoria, la atención, los instintos, la voluntad, los estados hipnóticos y la conciencia del yo. A diferencia de Wundt, no considera estos fenómenos como elementos a modo de «ladrillos» de una casa, sino funciones. James niega que las sensaciones, las imágenes y las ideas sean elementos discretos, idea que considera propia de una visión atomista de la conciencia. Por el contrario, propone una visión continua de ésta, más parecida a un líquido que fluye (*stream of flow*). James quiere evitar dar realidad metafísica y estatus ontológico a la conciencia, alejándose así de toda concepción atomista de los fenómenos mentales.

La etapa de la muerte de la conciencia corresponde al conductismo. J. B. Watson es considerado el padre de la corriente que dominó

1. Esta referencia es de *Introduction to Psychology*, una versión abreviada de *Outlines of Psychology*, traducción inglesa a cargo de Rudolf Pintner de *Grundriss der Psychologie*.

la escena de la psicología hasta la década de los años cincuenta y que supuso la caída definitiva de la psicología wundtiana. Su artículo «Psychology as the behaviorist view it» (1913) constituye «el manifiesto conductista» donde quedan patentes los principios de la disciplina: la psicología es un ciencia natural, su objetivo es la predicción y control de la conducta, la introspección no forma parte de sus métodos, y no hay una línea divisoria entre hombre y animal. Watson lleva a sus últimas consecuencias los principios filosófico-metodológicos de la concepción positivista de la ciencia. Esto le lleva a cuestionar la posibilidad de estudiar los fenómenos de la conciencia porque no se puede tener acceso a ellos de forma intersubjetiva y pública. A lo único que podemos tener acceso de forma objetiva es a la conducta, por lo tanto, son los actos conductuales el objeto de estudio de la psicología. Estos principios son compartidos por todos los conductistas, desde Watson a Skiner, pasando por Tolman y Hull, aunque hay algunas diferencias entre ellos. La más significativa es la de Tolman, quien intenta mantener el estudio de la conciencia, aunque con el método conductista.

Aunque durante la primera mitad del siglo XX el conductismo fue el paradigma dominante, no podemos pasar por alto otras corrientes que no abandonaron nunca la conciencia, entendiendo ésta como el conjunto de los fenómenos mentales. El enfoque piagetiano y la Escuela rusa de Vigotski y Lluria son una muestra de estas corrientes que no compartieron las tesis conductistas.

Con la psicología cognitiva la conciencia recuperó el protagonismo como objeto de estudio. Sin embargo, no debemos sacar la conclusión, como hace Blumenthal (1975; 1979), de que hay una vuelta a la psicología wundtiana, ya que sería una simplificación de lo que supuso el cognitivismo. Desde el punto de vista del objeto de estudio no cabe duda de que los fenómenos mentales y con ellos la conciencia vuelven a centrar la investigación en el campo de la psicología, pero la conciencia de los cognitivistas no es la misma que la de Wundt y, además, los métodos e instrumentos con los que cuentan tienen muy poco a ver con el modelo metodológico del introspeccionismo. Desde el punto de vista ontológico podemos decir que la ontología teórica es la misma, pero la referencia de los términos utilizados por Wundt y por los psicólogos cognitivistas difiere significativamente.

2. EL ESTUDIO DE LA CONCIENCIA EN LA ACTUALIDAD

La conciencia sigue siendo uno de los temas que más atención ha despertado entre psicólogos, filósofos y neurólogos, aunque los enfoques

sean muy distintos. Una primera distinción es entre explicación naturalista y no naturalista, aunque hay que decir que, a excepción de posturas como las de John C. Eccles, que sostiene que la conciencia tiene propiedades no físicas, la explicación predominante es la naturalista. A grandes rasgos podemos señalar los siguientes enfoques dentro de la corriente naturalista: el agnosticismo, representado por T. Nagel (1974), sostiene que por el momento no es posible comprender de forma naturalista la relación de la conciencia con el cerebro; el naturalismo anticonstructivista, representado por McGinn (1989), sostiene que hay propiedades del cerebro que dan cuenta de la conciencia pero no podemos conocer dichas propiedades; el naturalismo eliminacionista, representado por P. S. Churchland (1983, 1988) y P. M. Churchland y P. S. Churchland (1999), sostiene que una historia completa de nuestro cerebro nos proporcionará una historia completa de nuestra vida mental.

O. Flanagan (1992) representa una postura de síntesis dentro del naturalismo. Flanagan sostiene que la conciencia puede jugar un papel importante en la explicación de la vida mental y se distancia de los Churchland respecto a la tesis eliminacionista y a la comparación de la conciencia con el flogisto. El razonamiento de los Churchland es que si bien el flogisto, en un determinado momento de la historia, jugó un importante papel en la llamada «química del flogisto», luego al descubrirse que no existía el mismo se abandonó toda la teoría. Del mismo modo —siguen diciendo los Churchland— aunque la conciencia haya jugado un papel muy importante en la llamada «psicología del sentido común» (*folk psychology*), puede ser que no exista la conciencia y que ésta sea eliminada junto a la teoría que la sostiene cuando tengamos una teoría neurológica de la vida mental. Flanagan responde en dos direcciones: por un lado, el hecho de que no haya un concepto unificado de conciencia lo diferencia del flogisto, que estaba perfectamente definido en la química de Stahl[2], por otro lado, la conciencia, a diferencia del flogisto, no es un *explananda* sino un *explanandum*, por tanto, la conciencia no es como el flogisto sino como los fenómenos de corrosión, orín, etcétera[3].

Otra forma de abordar el problema planteado por el eliminacionismo respecto a la psicología del sentido común (*folk psychology*) es distinguir entre teorización especulativa como la alquimia, la óptica, la mecánica cuántica y psicología freudiana y teorización básica (*be-*

2. No puede decirse que el flogisto estuviera perfectamente definido, ya que se le atribuyeron características muy distintas.

3. Este argumento es mucho más convincente.

drock) anclada en una competencia específicamente innata, que nos permite alcanzar nuestros fines básicos tales como encontrar la forma de desenvolvernos en un determinado entorno local y comprender los estados mentales de los congéneres. Es tan improbable que este tipo de teorías sean absolutamente correctas como que sean absolutamente erróneas (Clark 1987). La hipótesis de Clark es que la psicología del sentido común es una teoría básica y no una teoría especulativa como la consideran los Churchland y Stich, entre otros. Por tanto, sería más adecuado cambiar la denominación de psicología del sentido común (*folk psychology*) por la de psicología ingenua (*naive psychology*). Del mismo modo que había una física ingenua que permitía a nuestros ancestros desenvolverse por el mundo y sobrevivir, también ha habido (y sigue habiendo para ciertos fenómenos) una psicología ingenua, como una teoría de lo mental que apela a creencias y deseos para explicar las acciones.

Otra de las cuestiones respecto al estudio de la conciencia se refiere a si es un concepto unitario o bien no tiene sentido conservar esta super-categoría, ya que los fenómenos que alberga son demasiado distintos. Además de P. S. Churchland (1988), autores como Wilkes (1988) sostienen que no existe un concepto unitario de conciencia, ya que para ello deberíamos poder identificar propiedades comunes a todos los fenómenos conscientes, es decir, para todas las situaciones en las que decimos «consciente de X», algo que no estamos en condiciones de hacer. Finalmente, está lo que la mayoría de los filósofos consideran el «problema fuerte» de la conciencia: la unidad de la experiencia consciente (*the philosophical binding problem*). Es decir, ¿cómo un objeto, un cerebro, se convierte en un sujeto, un yo con su autoconciencia?, ¿cómo puede cada uno de los aspectos de la percepción ser unificado si el cerebro está, simultáneamente, computando múltiples mapas del mundo[4]?

A. Allport (1988) cuestiona que el fenómeno de la conciencia sea de naturaleza unitaria. Para ello deberíamos tener una teoría de la conciencia a partir de la cual se pudieran distinguir las instancias de los fenómenos que explican dicha teoría, pero no existen criterios para distinguir dichos fenómenos. Por tanto, no hay una entidad de «conciencia fenoménica» unitaria, ni un proceso o estado único, ni tampoco un fenómeno conceptualizable coherentemente para el cual pudiera haber una teoría. Allport compara el concepto de conciencia con conceptos como vida y entendimiento que, aunque hay vida y entendimiento, no son fenómenos unitarios.

4. El problema de un concepto unitario de conciencia (una supercategoría) y el de la unidad de la experiencia consciente son distintos, aunque están relacionados.

La postura de Allport tiene puntos de coincidencia con los Churchland y con Wilkes, pero las consecuencias de uno y otros son distintas. Mientras los segundos concluyen que no es científicamente fructífero el estudio de la conciencia en general, Allport señala que depende de si tomamos un enfoque analítico o sintético. Hasta recientemente la respuesta ha sido que el enfoque debía ser analítico, ya que siempre se ha recelado de los enfoque sintéticos y holistas. Como resultado ahora conocemos muchos detalles de cada una de las partes pero muy pocas del conjunto. La solución podría venir de trazar un camino intermedio, que bien podría llamarse «holismo analítico» o «análisis holístico».

3. REDUCCIONISMO NEUROBIOLÓGICO *VERSUS* AUTONOMÍA DE LA PSICOLOGÍA

El problema del reduccionismo puede plantearse sincrónica y diacrónicamente. Sincrónicamente significa que, en un momento determinado, una ciencia puede reducirse a otra. Diacrónicamente se entiende como si toda teoría de una disciplina determinada quedara reducida a la que le sustituye. Todas las ciencias son susceptibles de plantearse el reduccionismo diacrónico y todas, excepto la física, lo son a su vez del reduccionismo sincrónico. El empirismo lógico proporciona una idea muy precisa de lo que se entiende por reduccionismo, tanto en un sentido como en otro. En el sentido sincrónico equivale a la reducción de la sociología a la psicología, de ésta a la neurobiología, de la biología a la química y de ésta a la física. En el sentido diacrónico equivale a la idea de progreso acumulativo de la ciencia, contrapuesto a una idea de progreso basado en la ruptura en la línea de Kuhn. Así se plantea la reducción de la física clásica a la mecánica cuántica, o de la genética mendeliana a la genética molecular. Tanto en un sentido como en otro la reducción consiste en que si una teoría T' queda reducida a una teoría T, entonces cualquier explicación utilizando un término de T' puede ser reemplazado por alguna explicación utilizando un término de T. Con lo cual la reducción significa el reemplazamiento de la teoría reducida por la reductora. La idea de reducción propuesta por el empirismo lógico no deja lugar a dudas sobre dónde reside la explicación última de un fenómeno: bien en la ciencia fundamental (reducción sincrónica), bien en la teoría más nueva (reducción diacrónica).

Este problema se plantea en otros capítulos de este volumen, pero aquí voy a abordarlo desde la psicología. Para el análisis del reduccionismo es relevante distinguir el aspecto ontológico y el metodoló-

gico. El primero presupone que las únicas unidades existentes en la psicología son las neurofisiológicas, el segundo, que no hay una metodología para la psicología distinta de la neurofisiología. Respecto a las cuestiones metodológicas, no es lo mismo situar las diferencias entre disciplinas científicas en las técnicas o en los principios generales del método científico. El debate sobre monismo *versus* pluralismo metodológico es estéril si antes no se fija el nivel sobre el que se discute (Estany 1996).

4. PARALELISMO PSICONEURAL

El problema de la relación entre lo físico y lo psíquico no es nuevo. Ya Wundt lo plantea con toda su crudeza en su obra *Principios de psicología fisiológica*. Según Wundt entre la psicología y la fisiología se cubren todos los fenómenos vitales, las dos son necesarias pero ninguna puede reducirse a la otra. La psicología fisiológica es, en primer lugar, psicología, y el adjetivo «fisiológica» indica que la psicología debe tener en cuenta los resultados de la fisiología moderna para el análisis de los procesos conscientes. La fisiología es el sustrato corporal de los fenómenos psicológicos. Wundt reconoce el papel del cerebro, aunque dado el conocimiento que se tenía en aquel momento de los procesos neuronales, no ocupa un lugar central en su obra. Finalmente, hay que señalar que la psicología fisiológica no abarca el estudio de los procesos mentales superiores, ya que éstos son estudiados por la historia y la mitología, y en el caso de la parte subjetiva de la conciencia recurre a las ciencias del espíritu en el sentido en el que las entendían los idealistas alemanes.

Los conductistas no se plantean la relación entre psicología y fisiología, ya que desde un principio optan por la fisiología y estudian sólo las manifestaciones observables. El conductismo no hace referencia explícita al cerebro aunque subyace a su explicación fisiológica de la conducta. La razón es que su metodología está condicionada por lo observable y en la primera mitad del siglo XX lo único observable era la conducta y sus manifestaciones fisiológicas más inmediatas.

Con la psicología cognitiva hay un retorno del problema psicofísico que se explicita en cómo abordar las explicaciones neurofisiológicas de conductas que previamente habían tenido sólo una explicación psicológica. La postura reduccionista sostiene que el recurrir a deseos, creencias, propósitos para explicar la conducta es inútil y que hay que buscar las causas neurofisiológicas de estos fenómenos psíquicos. Sin embargo, el reduccionismo no está exento de problemas. Austen Clark

(1980) señala que para que la psicología pudiera reducirse a la fisiología debería haber alguna teoría fisiológica que pudiera ser utilizada para explicar todo lo que es explicado por alguna teoría psicológica. Sin embargo, incluso en el caso de una reducción explicativa exitosa, esto no implicaría que los rasgos o procesos descritos por la teoría reducida no existieran. En último término, tendríamos una reducción epistemológica/metodológica pero no ontológica.

Otro de los problemas que plantea el reduccionismo es la incompatibilidad de las explicaciones fisiológica y psicológica. El caso de la depresión es un ejemplo de explicaciones encontradas: una hipótesis es que está relacionada con una falta de «catecolamina», una sustancia que se transmite en las sinapsis en el sistema límbico[5]. Hay una fuerte evidencia de que el sistema límbico constituye la base fisiológica para muchas funciones de motivación y emoción, por tanto, es plausible asumir que la depresión implica un cambio en el funcionamiento límbico; otra hipótesis relaciona la depresión con determinados acontecimientos que actúan con estímulos y afectan a varios procesos psicológicos que, a su vez, ocasionan el síndrome depresivo. La incompatibilidad se basa en que ambas explicaciones utilizan conceptos distintos, citan diferentes tipos de observaciones y antecedentes y se refieren a diferentes tipos de procesos. Sin embargo, tal como veremos más adelante con la idea de niveles de explicación las explicaciones psicológica y fisiológica no necesariamente son irreconciliables, por el contrario, pueden muy bien ser compatibles e incluso complementarias.

5. PROS Y CONTRAS DEL REDUCCIONISMO

Tanto el reduccionismo como el antirreduccionismo tienen muchas versiones. Va más allá de los objetivos de este artículo ofrecer un panorama exhaustivo de este debate. Me centraré en algunos de los puntos más relevantes del reduccionismo neurofisiológico. Entre los autores que cuestionan el reduccionismo encontramos concepciones no sólo distintas sino que van en direcciones contrarias. Tal es el caso de J. Fodor y P. M. Churchland. Fodor defiende la irreductibilidad de la psicología apoyándose en el funcionalismo, según el cual la teorización psicológica sobre la memoria, las imágenes mentales y los deseos está más centrada en lo que *hacen* que en lo que *son*. En el extremo opues-

5. J. J. Schildkraut, «Neuropharmacology of the affective disorders»: *Annual Review of Pharmacology*, 13 (1973), 427-454.

to pero igualmente contrario al reduccionismo está el eliminacionismo de Paul Churchland que sostiene que la teoría reducida no tiene referencia y, por tanto, queda fuera del ámbito científico.

5.1. *Realizabilidad múltiple*

Una de las razones más esgrimidas por los contrarios al reduccionismo es que los estados psicológicos son realizables de múltiples formas (*multiply realizable*) y en diferentes substratos, de lo cual se deduce que la neurofisiología no puede ser de gran utilidad para entender cómo funciona la cognición. William Bechtel y Jennifer Mundale (1999) se preguntan hasta qué punto debemos tomar en serio la amenaza de la realizabilidad múltiple para la relevancia de la neurofisiología en la explicación de la mente. Examinando cómo las áreas del cerebro se identifican en neurofisiología, no cabe el escepticismo respecto a su papel para la comprensión de la cognición. Estos autores analizan las razones del predominio y buena acogida entre filósofos y psicólogos de la tesis de la realizabilidad múltiple.

Una de estas razones es que la filosofía de la mente, en buena medida, ha surgido de la intersección con la filosofía del lenguaje, y la capacidad lingüística está asociada a los cerebros humanos. Desde esta perspectiva es natural considerar un cerebro de rata totalmente diferente de un cerebro humano. En la medida en que los investigadores en neurofisiología empezaron a mostrar diferencias entre individuos de la misma especie y cambios en el cerebro de un individuo a través del tiempo, se dedujo que si los cerebros eran diferentes, su actividad daría lugar a diferentes estados cerebrales. Sin embargo, parte del esfuerzo de los neurocientíficos ha sido mostrar que estas diferencias entre cerebros no impide identificar áreas cerebrales comunes en diferentes especies.

Otra de las razones por las que la tesis de la múltiple realizabilidad ha ejercido tanta influencia es por un malentendido muy extendido sobre cómo funciona «la inferencia a la mejor explicación». La mejor explicación hay que entenderla como la mejor no entre todas las explicaciones (pasadas, presentes y futuras) sino entre las que compiten en un mismo nivel de explicación. Por tanto, la comparación tiene que ser entre hipótesis psicológicas o entre hipótesis fisicalistas pero no entre hipótesis que no compiten entre sí. Con lo cual es perfectamente previsible que un fenómeno dado pueda tener una explicación psicológica y una explicación fisicalista.

Finalmente, en muchas ocasiones se han utilizado diferentes niveles de análisis a la hora de identificar los estados psicológicos y los es-

tados cerebrales, tomando criterios de grano grueso para identificar los estados psicológicos y de grano fino para diferenciar los estados cerebrales. Sin embargo, no hay tantas diferencias en el estudio de los estados psicológicos y cerebrales, ya que en ambos casos los investigadores se centran en las características comunes e ignoran las diferencias.

En este sentido, se atribuye a los psicólogos el ignorar las diferencias y centrarse en las características comunes al comparar estados psicológicos entre diferentes individuos, pero en realidad los neurofisiólogos hacen lo mismo al generalizar a pesar de las diferencias en los estados cerebrales.

E. Sober (1999) tercia en el debate y argumenta que la realizabilidad múltiple puede entenderse en el sentido de que las propiedades del nivel alto pueden realizarse de múltiples formas en el nivel bajo.

Generalización en el nivel alto	Si P entonces Q	
Generalización en el nivel bajo	A_1 o A_2 o... A_n	B_1 o B_2 o... B_n

Si uno piensa que A_1 es una posible realización de P, no puede deducirse que «A_1 causa Q» del hecho de que «P causa Q», pero sí podemos decir que «A_1 o A_2 o... A_n causa Q». El problema —dice Sober— es que algunos filósofos y psicólogos como Fodor tienen horror a las disyunciones.

El argumento de la realizabilidad múltiple, habitualmente, toma en cuenta las leyes deterministas. Sin embargo, las leyes en muchas ciencias son probabilísticas. La cuestión es cómo afectaría al argumento si asumimos que las leyes que relacionan P y Q son probabilísticas y que las A_i y las B_i también están relacionadas probabilísticamente.

5.2. *Cartografía del cerebro*

La tesis de la realizabilidad múltiple de los estados psicológicos cuestiona la contribución de la neurofisiología de diferentes procesos mentales. La idea de que un modelo de la arquitectura del cerebro pueda serlo, a su vez, de la cognición está bien fundamentada actualmente.

El intento de utilizar la organización cerebral para el análisis de las funciones psicológicas no es nuevo; tiene sus raíces al menos en el siglo XIX. Franz Josef Gall fue el impulsor de la teoría de la organología o «frenología». Gall pensaba, erróneamente, que el tamaño de una región cerebral se correspondía directamente con el grado en que

una persona poseía una función con la que estaba asociada. Las ideas de Gall tuvieron un gran impacto en la comunidad científica. En aquel momento su postura se consideraba localista y se enfrentaba a posiciones holistas como la del cartesiano Marie-Jean-Pierre Flourens. Aunque su teoría tiene muchos errores la frenología fue muy fecunda teóricamente al sostener que «la diferenciación física denota diferenciación funcional».

La corriente localista no empezó a tomar una dirección científica hasta Paul Broca, en 1861, que identificó un área del cerebro como la responsable del lenguaje, basándose en unos casos de lesiones cerebrales. En 1870 Gustav Fritsch y Eduard Hitzig produjeron movimiento muscular por medio de la estimulación del córtex con corriente eléctrica.

Korbinian Brodmann (1868-1918) sostenía que las áreas del cerebro que aparecen físicamente distintas del tejido que les rodea son también distintas funcionalmente. Así, decía: «es un principio biológico que la función de un órgano está relacionado con su estructura histológica elemental». La falta de precisión en la localización y en el tipo de tejido que correspondía a cada función provocó las críticas de sus colegas, entre las cuales se encuentra la de Karl Lashley (1890-1958). Su mapa original ha sufrido varias revisiones pero continúa siendo el modelo estándar para identificar las regiones cerebrales. La diferencia fundamental estriba en cuanto se refiere a los métodos y técnicas disponibles. De Gall a Brodmann hay una diferencia de modelo metodológico; de Brodmann a la moderna cartografía cambian, sobre todo, las técnicas.

A partir de los trabajos sobre cartografía del cerebro podemos sacar conclusiones respecto a la organización y posible modularidad de las funciones cognitivas. En este sentido, la hipótesis de la modularidad de la mente defendida por Fodor parece que tiene en la cartografía del cerebro su principal campo de batalla; sin embargo, el descubrimiento de la conectividad en el cerebro plantea dudas sobre si la mente está dividida en regiones tan aisladas como piensa Fodor. En conclusión, la cartografía del cerebro muestra la contribución de la neurofisiología a la psicología y puede jugar un papel muy importante en el debate sobre localización *versus* holismo de las funciones psicológicas.

6. NIVELES DE EXPLICACIÓN

Una posible salida al debate sobre reduccionismo procede de pensar en términos de niveles de explicación. Los niveles analíticos depen-

den parcialmente de ver la naturaleza como organizada en «partes y todos» y, en gran medida, imitando «niveles de agregación» (como opuestos a las simples consideraciones de escala). Si una entidad contiene otras como sus partes, y su descripción requiere otros principios organizativos más allá de los que conciernen a aquellas partes, entonces esta entidad se da en un nivel más alto de agregación. La serie de entidades que constituyen los objetos primarios de estudio de cualquier ciencia y las principales unidades de análisis de la misma también siguen la organización de los niveles analíticos. Cuanto más bajo sea el nivel analítico de una ciencia, más omnipresentes son las entidades que estudia. Por ejemplo, las partículas subatómicas, tratadas en física, son los «ladrillos» de todos los demás sistemas físicos (moléculas, sistemas fisiológicos, galaxias, grupos sociales y demás). Aunque la complejidad no tiene una única y simple medida, la relativa complejidad de los sistemas (agregados) genera un cuadro similar. Las ciencias en un nivel analítico bajo estudian sistemas (relativamente) más simples, al menos en la medida en que las ciencias de un nivel de análisis cada vez mayor tratan con series cada vez más restringidas de eventos concernientes a sistemas cada vez más organizados cuyo estudio requiere principios explicativos adicionales. El orden de los niveles analíticos corresponde al orden cronológico en historia natural de la evolución de los sistemas. Cuanto más bajo es el nivel analítico de una ciencia, más tiempo hace que el sistema en el que se ha especializado existe (McCauley 1996).

Si trasladamos este cuadro a la explicación de los fenómenos mentales, se nos plantean una serie de interrogantes. ¿Cómo obtenemos una explicación de la conciencia, la cognición y la conducta?, ¿recurriendo a las neuronas o a las intenciones y propósitos de los individuos?; si no hacemos mención de nuestros deseos o creencias, ¿cómo encajamos esto con nuestra concepción de nosotros mismos como seres racionales?, ¿pueden los modelos de procesos físicos explicar nuestra vida mental?, ¿requiere la mente un nivel especial de explicación racional o cognitiva, o está mejor explicada en términos del funcionamiento del cerebro?, en resumen, ¿cuál es el estatus de las explicaciones psicológicas que apelan, fundamentalmente, a los contenidos mentales? Durante siglos los filósofos se han preguntado si la mente podía ser explicada científicamente, pensando en explicaciones físicas. La respuesta positiva está ampliamente generalizada; sin embargo, queda la cuestión de en qué nivel de análisis puede ser explicada la mente.

McCauley propone los «modelos integradores de las relaciones entre ciencias en diferentes niveles» (*integrative models of cross-scien-*

tific relations) y considera que el precio que se ha pagado por priorizar, por encima de todo, la simplicidad (y, por tanto, el reduccionismo) es demasiado alto. El reduccionismo olvida todas las relaciones excepto las interteóricas y concibe éstas en términos de explicación reductora. En cambio los modelos integradores pueden abordar las relaciones interdisciplinares que son básicas en las ciencias cognitivas, viendo relaciones iluminadoras (además de posibles reducciones) entre modelos psicológicos, conexionistas y neurocientíficos. De hecho el principal objetivo del programa reduccionista es descubrir y explicar los mecanismos que subyacen en el funcionamiento de los sistemas complejos, pero, como señalan Bechtel y Richarson (1993), esta actividad no elimina ni reemplaza los sistemas complejos ni las teorías en el macronivel.

La investigación en los niveles bajos puede definir e incluso corregir aproximaciones en el macronivel. Pero los modelos integradores pueden también mostrar cómo la investigación en el nivel alto (por ejemplo, en psicología) puede jugar un rol muy significativo en «justificar» proposiciones en el nivel bajo y motivar investigación novedosa en los niveles intermedios. Tener en cuenta la evidencia psicológica «refuerza» la precisión y la plausibilidad de los modelos conexionistas y neurocientíficos (McCauley 1996).

Aplicada esta idea al ejemplo de la depresión podemos decir que ambas explicaciones discurren en niveles distintos y pueden ser complementarias. Para la explicación psicológica es importante saber cuáles son los procesos cerebrales que tienen lugar cuando una persona está deprimida y para la explicación fisiológica es interesante conocer qué situaciones personales y sociales (psicología social) provocan una disminución de producción de catecolamina.

7. LA PERSPECTIVA DARWINISTA EN LA PSICOLOGÍA

En alusión a una novela de Miguel Delibes (*La sombra del ciprés es alargada*), podemos decir que «la sombra de Darwin es alargada», una forma de expresar la enorme influencia de las tesis darwinistas sobre la evolución de las especies en muchos campos de conocimiento, más allá de la biología.

7.1. *Psicología evolucionista*

En el caso de la psicología esta influencia ha tomado cuerpo en lo que se denomina «psicología evolucionista». J. H. Barkow, L. Cosmides y

J. Tooby (1992) y S. Pinker (1997) son sólo algunos de los autores más representativos de este enfoque.

La psicología evolucionista ha generado enconados debates en la comunidad científica, no solamente en el mundo estrictamente académico sino en las secciones sobre ciencia de los medios de comunicación. La fundamentación teórica de la psicología evolucionista reside en la biología evolutiva, con cuya contribución se espera poder entender el proceso de diseño y la arquitectura de la mente humana. Su objetivo es aunar la moderna biología evolutiva y la revolución cognitiva para así reunir todas las ramas de la psicología en un único sistema organizado de conocimiento.

La psicología evolucionista parte de la premisa de que hay una naturaleza humana universal al nivel de mecanismos psicológicos evolucionados que son adaptaciones, llevadas a cabo por selección natural a lo largo del tiempo evolutivo. S. Pinker (1997) señala que la mente es un sistema de órganos de computación, diseñados por selección natural para resolver los tipos de problemas a los que nuestros antepasados tuvieron que enfrentarse en la búsqueda de un modo de vida, en particular, para comprender y manipular objetos, animales, plantas y sus propios congéneres. Esta idea general se concreta en los puntos siguientes: 1) la mente está formada por órganos mentales para propósitos específicos (una mente de dominio específico, por ejemplo, un módulo especializado en detectar a los tramposos), en contraposición a la concepción de que la mente responde a un propósito general (una mente de dominio general); 2) los órganos mentales se formaron a través de la acumulación (aparentemente muy lenta) de variaciones genéticas, cada una de las cuales contribuyó al éxito reproductivo del individuo; 3) los procesos que formaron nuestros órganos mentales especializados ocurrieron durante el Pleistoceno, hace uno o dos millones de años, periodo en el que nuestros antepasados eran cazadores-recolectores en la sabana africana y durante el cual tuvo lugar una significativa expansión del cerebro, y, aunque estos fenómenos pueden parecernos no adaptativos en nuestro mundo, lo fueron en aquel periodo.

Tooby y Cosmides piensan que la teoría de la evolución ha estado muy apartada de la psicología y otras disciplinas de la conducta debido al peso que entre estas disciplinas ha tenido «el modelo estándar de ciencia social» (Standard Social Science Model, SSSM), según el cual en lo que concierne a los humanos, lo que la evolución ha producido ha sido una mente de dominio general con muy poco peso del conocimiento y predisposiciones innatas y casi totalmente conformadas por la cultura y la sociedad en la que los individuos crecen y viven.

Frente a este modelo estándar de ciencia social, Tooby y Cosmides proponen la metodología denominada «ingeniería inversa», que consiste en que cuando uno se encuentra con un fenómeno psicológico que se considera el resultado de algún tipo de adaptación, hay que figurarse qué ventajas hubiera supuesto para nuestros antepasados cazadores-recolectores (no necesariamente tienen que ser ventajas para nosotros) y analizarlo en términos de la presión selectiva para aquellos antepasados.

A veces se ha comparado la psicología evolucionista con la sociobiología de E. O. Wilson; sin embargo, sus defensores quieren establecer diferencias y dejar claro que no es lo mismo. Así, señalan que la psicología evolucionista no trata, como la sociobiología, de dar explicaciones evolutivas de la conducta social, sino más bien de dar explicaciones evolutivas de los fenómenos mentales. A pesar de que algunos autores consideran las diferencias de poca importancia, ellos insisten en lo contrario, ya que hay una gran diferencia —argumentan— entre utilizar la teoría de la evolución para explicar lo mental (las estructuras de la mente y el cerebro que han evolucionado en los humanos) y utilizarla para explicar la conducta que está ligada a lo mental de forma, a veces, muy indirecta.

La psicología evolucionista tiene planteadas muchas preguntas cuya respuesta es muchas veces discutible (Mitchell 1999). Una de ellas es la dificultad de identificar un rasgo adaptativo que es el que, directa o indirectamente, promueve la reproducción (o al menos la promovió en su origen) y que es diseñado por la selección natural. Sin embargo, muchos evolucionistas reconocen que no todos los rasgos son adaptativos sino que algunos son accidentales (producto de mutaciones azarosas que les dan ventaja selectiva), y otros son producto de otras fuerzas que conforman los organismos, tales como constreñimientos físicos sobre procesos de desarrollo, efectos secundarios de adaptaciones, etc. El problema de fondo es que no hay una teoría general que nos diga cuándo tenemos un rasgo adaptativo y cuándo no.

Otra dificultad es cómo saber que un rasgo mental ha evolucionado, dado que no tenemos una teoría general sobre qué rasgos pueden producir la evolución, cuán rápidamente puede producirlos, y qué estabilidad o inestabilidad tiene que tener el entorno para que dicha evolución se produzca. Finalmente, otra de las cuestiones importantes se refiere a las fuerzas evolutivas relevantes para la explicación de los rasgos adaptativos. Nadie duda de que la selección natural ha sido un mecanismo central del cambio evolutivo, pero puede que no sea la única fuerza. Además del propio Darwin, S. J. Gould, N. Eldredge, R. Lewontin, S. Kauffman y B. Goodwin, entre otros, consideran

que hay otras fuerzas que han contribuido al cambio evolutivo, tales como la evolución neutra (los organismos cambian de forma no adaptativa), constreñimientos físicos e históricos sobre el desarrollo, accidentes históricos, derivación genética y auto-organización. Posiblemente nadie negaría la intervención de todos estos factores, el desacuerdo está en función del peso que se da a cada uno de ellos.

7.2. *Teoría de la selección de grupos neuronales*

La teoría de la selección de grupos neuronales (TSGN) o darwinismo neuronal parte de la idea de Darwin de que la variación o diversidad entre los individuos de una población proporciona la base para la competencia durante la selección natural, y sus defensores proponen aplicar estos principios selectivos al funcionamiento del cerebro. Esperan que el resultado sea poder dar respuesta a preguntas sobre la integración de la actividad neuronal para dar lugar a la conciencia a pesar de la diferenciación de las áreas del cerebro (Edelman y Tononi 2002).

Vamos a analizar los argumentos esgrimidos por Edelman y Tononi respecto al darwinismo neuronal. La evidencia empírica sugiere que la experiencia consciente no se encuentra asociada a una única área del cerebro sino a cambios en los patrones de actividad que se producen simultáneamente en muchas regiones del cerebro; ahora bien, ¿qué más hace falta para que haya experiencia consciente? La cuestión es qué teoría del cerebro es compatible con los patrones de actividad neuronal distribuidos e integrados, pero continuamente cambiantes, que pueden general una fenomenología de la experiencia consciente, que es unitaria, pero, al mismo tiempo, inmensamente diferenciada. Una posible respuesta a estos interrogantes es que el cerebro es un sistema selectivo, o darwinista, que precisa la variabilidad.

La TSGN se asienta en unos principios fundamentales. El primero se refiere a la selección en el desarrollo del cerebro de los individuos de una especie durante el cual la neuroanatomía establece un repertorio de grupos neuronales altamente variables. El segundo establece cómo a través de la experiencia se produce un proceso de selección sináptica dentro del repertorio de grupos neuronales. Este proceso de selección tiene constricciones debidas a las señales del cerebro que emergen a consecuencia de la actividad de los sistemas de valores de proyección difusa. El tercer principio se refiere al mecanismo, denominado de «reentrada», que tiene la función de coordinar, espaciotemporalmente, los diversos eventos sensoriales y motores. Este mecanismo es muy importante porque permite explicar las respuestas

coherentes a partir de la sincronización de la actividad de grupos de neuronas que quedan vinculadas formando circuitos, sin tener que recurrir a un homúnculo o a un programa de ordenador. De hecho Edelman y Tononi (2002, 131) consideran que la reentrada es fundamental para la TSGN porque es el mecanismo integrador más importante de los cerebros superiores y, en consecuencia, el que garantiza la creación de escenas en la conciencia primaria.

Volviendo al principio, la base teórica que sostiene a la TSGN son los principios darwinistas, de ahí la relevancia de la teoría de la evolución en la explicación de la mente. Vemos pues que la importancia de Darwin se ha plasmado en aproximaciones desde ángulos distintos, no contradictorios pero sí diferenciados y con consecuencias diferentes.

8. MODELOS Y TEORÍAS PSICOLÓGICAS

La ciencia representa el conocimiento científico a través de conceptos, hipótesis, leyes y teorías. Todo ello converge en diversos modelos de explicación científica. Vamos a ver hasta qué punto las concepciones de teoría y los modelos de explicación acuñados por la filosofía de la ciencia encajan con la forma que los psicólogos han expresado el saber sobre los fenómenos mentales, al menos desde que se constituyó la psicología experimental a principios del siglo XIX. Si tomamos las teorías como la forma más completa de representar el conocimiento y nos atenemos a las principales concepciones en filosofía de la ciencia (sintáctica, estructuralista y semántica), podemos preguntarnos: ¿cómo el introspeccionismo, el conductismo y la psicología cognitiva expresan el conocimiento de los fenómenos psicológicos?, ¿podrían reconstruirse estos enfoques con las concepciones señaladas?

A la hora de analizar la forma en que los psicólogos han representado el conocimiento desde el nacimiento de la psicología experimental hasta nuestros días una primera reflexión es que hay diferencias importantes entre el estructuralismo y el conductismo. La idea de causalidad física y causalidad psíquica propuesta por Wundt puede entenderse como explicaciones causales aunque no necesariamente explicaciones nomológico-deductivas *à la* Hempel-Openheim (propuesta en 1979).

En cuanto a las teorías científicas propiamente dichas no encontramos ni en Wundt ni en sus alumnos (Külpe y Titchener) ni en la Escuela de Wurzburgo unas formulaciones que fueran fácilmente reconstruibles con estructura axiomática o con la teoría de conjuntos. Wundt estudia los procesos afectivos (emoción), volitivos (voluntad)

y perceptivos (apercepción), y estudia también la importancia de los sentimientos en los procesos conscientes de la memoria, del reconocimiento y de las actividades de la imaginación y la comprensión. Y lo hace de forma experimental, en el laboratorio, pero no le preocupan tanto los modelos formales que podrían subyacer a estos resultados. De hecho Wundt toma la analogía de la química para explicar la estructura y dinámica de la conciencia, cuyos últimos elementos son las sensaciones a partir de las cuales surgen las formaciones químicas (agregados), y así hasta llegar a los fenómenos psíquicos superiores como los procesos volitivos y los sentimientos.

En el caso del conductismo, dado que adoptaron el modelo de ciencia de Hempel trataron por todos los medios de encontrar leyes de conducta que les permitirían aplicar el modelo de explicación nomológico-deductiva. Respecto a los aspectos formales del empirismo lógico, D. Hull fue, entre los conductistas, el que más próximo estuvo al enfoque formalista.

9. COGNICIÓN Y COMPUTACIÓN

El paso del conductismo al cognitivismo fue lento y, a pesar de que hubo acontecimientos puntales que marcaron puntos de inflexión en su desarrollo, no hubo «un asalto al Palacio de Invierno» (Baars 1986). Los cambios más importantes tuvieron lugar entre 1955 y 1965. Con la psicología cognitiva hay una vuelta al estudio de la conciencia. En los años sesenta los psicólogos volvían a hablar con toda libertad de fenómenos mentales, a diferencia de la década anterior en que Tolman tenía que justificar su interés por los «propósitos» y por los «mapas cognitivos». Una de las razones es que la teoría de la computación hizo pensar a muchos psicólogos que el sistema nervioso era una especie de procesador de información, una metáfora que les legitimaba para pensar en términos de fines y representaciones; otra de las razones es que la metodología experimental desarrollada por los psicólogos conductistas proporcionó a los psicólogos cognitivos argumentos convincentes para tratar, de forma experimental, cuestiones como la atención, las representaciones mentales, la inferencia inconsciente y los fines. En otras palabras, «la teoría computacional proporcionó una garantía de que la imaginación teórica no excede los límites de la posibilidad física, y las demostraciones experimentales mostraron un caso convincente de que las ideas computacionales podían aplicarse a los seres humanos» (Baars 1986, 146). Esto significaba que podían abordarse los fenómenos mentales con métodos objetivos proporcio-

nados por otras disciplinas surgidas del programa interdisciplinar de la ciencia cognitiva.

La ortodoxia contemporánea ha mantenido que la cognición es computación: la mente es un tipo especial de ordenador y los procesos cognitivos son la manipulación sometida a leyes de representaciones simbólicas internas. Aunque esta idea continúa siendo la referencia de una buena parte de la investigación en ciencia cognitiva, han empezado a aparecer una serie de dificultades y esto ha hecho surgir alternativas, entre las que podríamos incluir el conexionismo, los enfoques neurocomputacionales, la psicología ecológica, la robótica situada, la sinergética y la vida artificial.

Tim van Gelner (1995) aborda directamente el problema y defiende un enfoque dinámico en el que en lugar de ordenadores los sistemas cognitivos se consideren sistemas dinámicos, en el sentido de sistemas que intentan describir cómo se dan los procesos a lo largo del tiempo, factor para el que los modelos computacionales están muy limitados. Un sistema dinámico de la cognición se propone minimizar las dificultades para comprender cómo los sistemas cognitivos son sistemas biológicamente reales en constante e íntima dependencia de, o en interacción con, sus entornos.

Este enfoque dinámico es anticartesiano, ya que en lugar de considerar la mente como una entidad interna de algún tipo, sea materia mental o estados cerebrales, es más bien una materia de lo que *hacemos* en el marco de las posibilidades ambientales y sociales. Así el agente poscartesiano se las arregla para lidiar con el mundo sin necesidad de representarlo. Un enfoque dinámico sugiere que esto puede ser posible mostrando cómo la operación interna de un sistema interactuando con el mundo exterior puede ser tan sutil y complejo que resulte imposible la descripción en términos representacionales, en otras palabras, que la cognición puede *trascender* la representación.

10. SIMULACIÓN Y TEORÍAS DE LA COGNICIÓN

Dentro de los problemas surgidos de la relación de la psicología con la ciencia de la computación está el papel de los modelos conexionistas y el estatus epistemológico de la simulación como forma de representar la realidad. Hay varias preguntas que podemos plantearnos: ¿qué potencia explicativa tiene una simulación?, ¿qué relación hay entre la simulación y lo simulado?, ¿cuál es el valor epistemológico de la simulación?, ¿es una nueva forma de representar el conocimiento que tenemos de la realidad como lo son (o lo fueron) las leyes y las teorías?

Ch. D. Green (1998) señala que los modelos conexionistas de la cognición son muy comunes hoy día en la literatura psicológica, pero hay muy poca discusión del papel que pueden jugar en la ciencia. Si estos modelos son teorías, en el sentido tradicional, se necesita alguna aclaración de por qué los consideramos así y de qué forma cumplen los requisitos atribuidos a una teoría científica. Si no son teorías tradicionales, entonces se necesita una descripción clara de lo que son y una explicación de por qué hay que prestarles atención.

Green toma el modelo hempeliano de teoría y pone como ejemplo de teoría de la psicología el modelo de memoria propuesto por Atkinson y Shiffrin en 1971, que en los últimos treinta años ha sido redefinido y se han introducido muchos más términos teóricos. La justificación para incluir nuevos términos teóricos en una teoría es que están conectados a fenómenos empíricos específicos. En los modelos descritos como teorías, cada entidad teórica representa algo en particular, incluso si este algo es él mismo teórico. La existencia y las propiedades de las entidades representadas están apoyadas por evidencia empírica relacionada específicamente con dicha entidad.

¿Qué ocurre en los modelos conexionistas? En un modelo conexionista estándar hay docenas, a veces cientos, de unidades simples, todas ligadas por cientos, a veces miles, de conexiones. Ninguna de las unidades ni de las conexiones representa algo que se sepa que existe en el dominio cognitivo y que han sido modeladas por la red. Del mismo modo, las reglas que gobiernan cómo la actividad de una unidad afectará a la actividad de otras unidades con las cuales está conectada son extremadamente simples, y no relacionadas, de forma obvia, con el dominio modelado por al red. Las unidades de una red no están pensadas para representar actitudes proposicionales particulares (deseos, creencias, etc.) o los términos o los conceptos que pueden subyacer a estas actitudes proposicionales. Las representaciones, en la medida en que puedan admitirse, están distribuidas a través de las actividades de las unidades como un grupo.

Si esto es así, se nos plantea un problema acuciante: ¿qué es exactamente lo que, en realidad, conocemos sobre un determinado proceso cognitivo una vez que lo hemos modelado con una red conexionista?

Una posible respuesta de los científicos cognitivos podría ser que las unidades conexionistas «corresponden» a las neuronas del cerebro. Sin embargo, no se precisa si hay que considerarlo una analogía o un enunciado en sentido literal. Muchos conexionistas parecen andar con cautela a la hora de proclamar demasiado atrevidamente que sus redes neuronales modelan la actividad real del cerebro. Por ejemplo, McClelland, Rumelhart y Hinton (1986) dicen que los modelos

conexionistas «parecen mucho más íntimamente ligados a la fisiología del cerebro que cualquier otro modelo de procesamiento de la información» (*ibid.*, 10), pero luego se retraen diciendo que «la plausibilidad fisiológica y la inspiración neuronal [...] no son la base primaria de interés» (*ibid.*, 11). Smolensky (1988), después de haber examinado una serie de posibles correspondencias, señala que «dada la dificultad para determinar la contraparte neuronal de los componentes de los modelos subsimbólicos (es decir, conexionistas), y dado el número de pérdidas, incluso en las propiedades generales consideradas [...], parece apropiado advertir que es mejor dejar la cuestión abierta» (*ibid.*, 9). Sólo con esta advertencia por delante afirma luego que «no parece que pueda negarse, sin embargo, que el nivel subconceptual (conexionista) está significativamente más cerca del nivel neuronal que el nivel conceptual (simbólico)». Sin embargo, no aclara qué métrica utiliza o en qué criterios se basa para decir que un enfoque se adecúa más o menos al nivel neuronal.

Para concluir, Green dice que las reservas que pone a los modelos conexionistas no significan que haya que dar paso a los modelos simbólicos, apelando a que la cognición es inherentemente simbólica (tal sería el caso de Fodor). Esto es una cuestión totalmente independiente. Lo que sugiere, sin embargo, es que el aparente éxito del conexionismo en dominios donde los modelos simbólicos fallan puede ser debido tanto al mayor «grado de libertad» adicional que los modelos conexionistas han aportado en virtud del enunciado general sobre representación distributiva a través de un gran número de unidades no interpretadas, como a cualquier virtud inherente que el conexionismo tiene sobre el simbolismo a la hora de explicar fenómenos cognitivos.

Aun siendo dignas de mención las consideraciones de Green, no hay que olvidar que una buena parte del enfoque formal en filosofía de la ciencia se dedicó, fundamentalmente, a la reconstrucción de las teorías científicas con distintos aparatos formales. Pensemos en la concepción sintáctica de las teorías que sostenía que las teorías debían de tener estructura axiomática y la concepción estructuralista dedicada a la reconstrucción a partir de la teoría de conjuntos. La pregunta que se hace Green sobre los modelos conexionistas podría hacerse igual sobre los modelos formales: ¿qué es exactamente lo que, en realidad, añade al conocimiento que conocemos sobre un determinado proceso físico, biológico, social, una vez que lo hemos reconstruido con un modelo formal? Lo que sugiero es que la simulación tiene el valor, como mínimo, de un modelo formal y, dado que este modelo formal está pensado para el sistema cognitivo, siempre

será más relevante que cualquier otro. De todas formas, el estatus epistemológico de la simulación es una asignatura pendiente de la filosofía de la ciencia.

11. UN MODELO CONCEPTUAL DE LOS ESTADOS CONSCIENTES

Desde la neurología se han hecho importantes aportaciones a la psicología. A modo de ejemplo he tomado dos modelos de lo que constituye el tema central de la psicología, la conciencia. J. Allan Hobson aborda los elementos que entran en juego en los estados conscientes y Antonio Damasio estudia la relación de las emociones y la conciencia.

Hobson (1999) construye un modelo conceptual que sirva de guía para clasificar lo que ya conocemos como estados normales de la conciencia. Las dos esencias de la conciencia, estado de vigilia y estado de vigilia del estado de vigilia, están sujetas a cambios de grado y de forma del mismo modo que las estructuras cerebrales y las funciones subyacentes están sujetas a variación cíclica: en la evolución de las especies, en el desarrollo de cada individuo y en el curso de cada día y noche.

Para determinar las características organizativas de los estados de conciencia normales hay que tener en cuenta tres factores determinantes: el nivel de activación (A), la fuente de información (I) y el modo de procesamiento (M) (AIM). Cada factor tiene un claro significado fisiológico y psicológico. Este modelo tridimensional nos permite visualizar el estado de conciencia instantáneo como un punto en el espacio cuya posición es una función de los valores de estos tres factores.

El nivel de activación o factor A nos dice cómo está de «caliente» el sistema, cuál es la «temperatura» del estado mente/cuerpo en el espacio, cuántos datos es capaz de captar por unidad de tiempo, etc. Estas cuestiones tienen que ver con la energía del sistema mente/cuerpo. La activación puede ser estimada de varias formas: registrando la actividad de células individuales, con un electroencefalograma (EEG), con una imagen de las lesiones cerebrales y por la conducta. Ninguna de estas formas de medir son ideales, pero la activación es una dimensión indispensable de cualquier modelo sobre la mente/cerebro y un factor necesario, aunque no suficiente, para que haya conciencia.

La fuente de información o factor I integra tres aspectos de la selección de información: las puertas de entrada y salida, la fuerza de los estímulos internos y externos, y la puerta de salida motor. Las puertas sensoriales (y motoras) al mundo exterior están abiertas cuan-

do estamos despiertos, parcialmente cerradas en el sueño NREM, en la medida en que el nivel de activación baja, pero se cierran de golpe por inhibición activa en el sueño REM. La frecuencia del movimiento de los ojos y de la cabeza nos dice si la información procede del interior o del exterior y estima la cantidad de información que es procesada. La modulación o factor M nos dice la forma en que la información es procesada. A la pregunta de si la información procesada es almacenada o no, la modulación nos da la respuesta: cuando la serotonina y la «norepinefrina» están disponibles la información es almacenada, en caso contrario, no.

Las ventajas del modelo tridimensional sobre el tradicional son tanto formales como sustantivas. En el nivel sustantivo, el modelo tradicional describe el estado consciente sólo en función del nivel de intensidad. Y así no da la importancia que tiene a la fuente de información ni a la neuromodulación, que sólo ahora empieza a ser atendida por muchos psicofisiólogos del sueño. En el nivel formal, un modelo de espacio tridimensional de los estados conscientes permite a la conciencia ser descrita de forma más rigurosa. También proporciona la descripción de estados de conciencia con la movilidad dinámica que necesita para ser realista. La conciencia no sólo fluctúa en intensidad sino que también fluctúa en función del contacto con el mundo exterior y de los factores emocionales.

En un modelo tridimensional, el lugar de A, I y M es un punto que puede moverse en el espacio (delante y detrás; arriba y abajo; hacia dentro y hacia fuera) tal como nuestras mentes lo hacen, especialmente en estado consciente. El AIM se acomoda a una rica variedad de subestados del estar despierto en diferentes puntos del espacio tridimensional: vigilante, relajado, somnoliento, etc., representando mucho mejor la complejidad de los estados conscientes.

12. UN MODELO DE LA CONCIENCIA LIGADO A LAS EMOCIONES

El objetivo de A. Damasio (1999) es estudiar, por un lado, la conexión entre emoción y conciencia y, por otro, entre ambas y el cuerpo. La conciencia se entiende como la parte de la mente relativa a la sensación aparente de ser (*self*) y conocer. Resolver el misterio de la conciencia no es lo mismo que resolver todos los misterios de la mente. El poder de la ciencia consiste precisamente en su capacidad de verificar objetivamente la consistencia de muchas subjetividades individuales. Esto significa partir de los siguientes supuestos: los procesos de la mente, incluidos los de la conciencia, tienen su base en la acti-

vidad cerebral; el cerebro forma parte del organismo corporal con el cual se relaciona; y los seres humanos, a pesar de las diferencias individuales, compartimos características biológicas similares.

Damasio distingue varios niveles de conciencia que corresponden a distintas clases de ser (*self*). En el nivel elemental está el «protoser», del cual no somos conscientes, y que es un conjunto de pautas neurales interconectadas y coherentes temporalmente y que representan el estado del organismo en múltiples niveles del cerebro, minuto a minuto. Cuando pasamos a la conciencia tenemos la «conciencia central» y la «conciencia extendida», correspondiente al «ser central» y al «ser autobiográfico». La conciencia central se da cuando los dispositivos de representación del cerebro originan un informe no verbal y en imágenes de cómo se ve afectado el estado del organismo por el procesamiento que el organismo hace del objeto y cuando este proceso resalta la imagen del objeto causante, situándolo por ello de manera destacada en un contexto espacial y temporal. La conciencia ampliada se asienta sobre la conciencia central pero está conectada al pasado vivido y al futuro previsto que forma parte de nuestro ser autobiográfico, basado en la memoria autobiográfica, constituida por los recuerdos de la experiencia individual. En resumen, la señalización neural no consciente de un organismo individual engendra al «protoser», que permite la existencia del ser central y de la conciencia central, que su vez fundamentan el ser autobiográfico, el cual produce la conciencia ampliada que, como producto final, da lugar a la conciencia moral.

Esta propuesta es la base para un programa de investigación para conocer la base neurológica de la conciencia. A lo largo de su obra Damasio aporta abundante evidencia que avala este modelo de conciencia, reconociendo que sólo futuras investigaciones pueden decir hasta qué punto este modelo responde al funcionamiento real de la mente.

Es importante señalar algunas consecuencias que el mismo Damasio saca sobre determinadas cuestiones. Una de ellas es la relativa a la naturaleza no verbal de la conciencia central que choca con otros enfoques que consideran que la conciencia es un fenómeno poslingüístico. La razón de esta idea es que en el caso de los humanos hay una traducción verbal inmediata (e imposible de inhibir) de la narración no verbal de segundo orden de la conciencia; sin embargo, el ser central es previo a la traducción en palabras. Según Damasio, cuando Daniel Dennett, Humberto Maturana y Francisco Varela hablan de conciencia como un fenómeno poslingüístico hablan de la conciencia ampliada.

También este modelo proporciona elementos para afrontar la eterna discusión sobre «naturaleza *versus* cultura». Si bien, prácticamente, toda la maquinaria que se encuentra detrás de la conciencia central depende, fundamentalmente, de los genes, en la memoria autobiográfica interviene, además de la biología heredada, el entorno en el sentido tanto de las disposiciones aprendidas en las primeras etapas del desarrollo como de los episodios y experiencias personales.

Damasio apuesta inequívocamente por buscar la base neurofisiológica de la conciencia pero sin eliminar ningún fenómeno mental. La distinción de clases de ser, correspondientes a niveles de conciencia, permite abordar su complejidad e incorporar paradigmas anteriores que ahora pueden analizar a la luz de la neurociencia como marco que engloba desde la psicología a la neuropsicología, pasando por la ciencia de la computación.

13. CONCLUSIONES

La capacidad explicativa de la psicología, tema central de este trabajo, está en función de las teorías que la sustentan. Si tomamos los tres principales modelos de teoría científica: la concepción sintáctica, la concepción estructuralista y la concepción semántica, vemos que la psicología no ha sido una disciplina motivo de reconstrucción ni sintáctica ni estructuralista (aunque de esta última hay algunos trabajos como los de Balzer [1989] y, recientemente, Bickle [1998]). Tampoco los ejemplos que utiliza Giere (uno de los principales adalides de la concepción semántica) están tomados de la psicología. ¿Significa esto que la psicología no encaja con los estándares de la metodología científica? Si nos atenemos a los modelos de explicación científica podemos señalar el modelo nomológico-deductivo de Hempel-Oppenheim, el de relevancia científica de Salmon, el pragmático de Van Fraassen, además de autores que toman la explicación científica como unificación (Kitcher) o como un acto ilocucionario (Achinstein). También en este caso nos podemos preguntar por el encaje de estos modelos con el tipo de explicaciones que los psicólogos han dado de los fenómenos mentales.

Como he comentado en otras ocasiones la relación de la psicología con la filosofía no ha sido un camino de rosas; antes al contrario, una relación de amor-odio. No hay que olvidar que la metodología de la ciencia, surgida de la concepción heredada, tenía como modelo de ciencia la física, aunque siempre fue su propósito que fuera «la» metodología científica necesaria para todas las disciplinas. Esto signi-

fica que los ejemplos de ciencias particulares que encontramos en los textos de la mayoría de los filósofos de la ciencia del siglo XX raramente proceden de la psicología. Sin embargo, tanto el positivismo como el empirismo lógico ejercieron una gran influencia en la psicología. Primero el positivismo de Mach y Avenarius en los alumnos de Wundt (Külpe y Titchener) y, más adelante, el modelo metodológico de Hempel en los conductistas (Watson, Hull, Skinner). De hecho el priorizar el rigor metodológico llevó a Titchener a distanciarse de Wundt y a situarse a un paso del conductismo, paso que nunca dio, pero que sí dieron los conductistas al precio de abandonar el estudio de la conciencia y de los fenómenos mentales y centrarse en la conducta, único fenómeno que podía observarse como requería el guión metodológico. Al tomar los conductistas el modelo nomológico deductivo su objetivo fue formular las leyes de la conducta a partir del estímulo-respuesta. La concepción de teoría que más se ajusta al paradigma conductista es la concepción semántica de Giere. El esquema de estímulo-respuesta podría ser considerado como un modelo teórico y las aplicaciones a los distintos actos conductuales, las hipótesis teóricas. Esto permitiría aceptar el conductismo en su justa medida, es decir, no obligaría a aceptarlo o rechazarlo completamente. Los conductistas, al menos los de la primera mitad del siglo XX, consideraban el esquema de estímulo-respuesta como el marco general con el que uno podía explicar cualquier conducta, desde actos automáticos a actos de habla. A comienzos del siglo XXI nadie aceptaría esta aplicación generalizada, pero después del rechazo del primer momento, muchos psicólogos piensan que el marco conductista explica determinadas conductas. Por tanto, el conductismo tiene aún a su favor algunas hipótesis teóricas, pero no todas las que pensaba en un principio.

La psicología cognitiva introduce nuevos elementos en la representación y explicación de la mente. Tal como hemos visto, la mayoría de novedades están relacionadas con su inclusión en el programa interdisciplinar de las ciencias cognitivas y, en concreto, con la ciencia de la computación y la neurofisiología. La filosofía de la ciencia tiene una larga tradición en el análisis de la analogía y la metáfora a las que ha atribuido un papel, fundamentalmente heurístico. Sin embargo, en el seno de las ciencias cognitivas ha surgido un uso de metáfora (metáfora del ordenador y metáfora del cerebro) que va más allá del sentido heurístico aunque no esté totalmente delimitada su capacidad predictiva y explicativa.

Respecto a los niveles de explicación, y relacionado con el reduccionismo, creo que es muy importante el nivel de explicación en el que nos situamos y qué es lo que nos interesa explicar, en primer tér-

mino, y aquí es muy clarificador el modelo pragmático de explicación de Van Fraassen. Pongamos el ejemplo de la explicación de la depresión. La discusión se plantea en ver si la depresión tiene causas psicosociales o biológicas. Casi siempre se plantea como explicaciones incompatibles. Por un lado, los que alegan causas psicosociales parten de la base de que no hay una relación entre depresión y estado neurobiológico o, al menos, que no es relevante. Por otro lado, los que defienden que la depresión es una disfunción neuronal no quieren atender a los posibles factores psicosociales que hayan podido desencadenar la depresión. Creo que podríamos decir lo siguiente: la depresión implica una disfunción neurobiológica; ahora bien, a la hora de buscar qué ha provocado esta disfunción uno puede responder que es una cuestión biológica, lo cual puede ser verdad, pero deberíamos hablar de una disposición a esta disfunción, como hablamos de una predisposición genética a tener determinados tipos de cáncer, a tener dolencias cardíacas, o cosas mucho más leves como la disposición a tener faringitis, eccemas o migraña. Sin embargo, en ningún caso hablamos de causa-efecto como una relación biunívoca. Ahora bien, dada esta disposición, no todo el mundo padecerá estas enfermedades ni en el mismo grado, dependiendo, en la mayoría de los casos, de situaciones psicológicas y sociales. Uno puede tener una disposición a tener faringitis, pero no cabe duda que comer hielo puede ser la causa de que se desencadene una faringitis en un momento determinado. Esto lo vemos claro en la mayoría de las disfunciones que atiende la medicina, pero no razonamos igual cuando se trata de fenómenos mentales.

En cuanto a la explicación de la depresión, desde el punto de vista de la psicología interesa investigar tanto el estado neurobiológico como la correlación entre depresión y paro, fracaso escolar, etc. Ya sabemos que no todos los parados tienen depresión, pero si el paro es un factor relevante para la depresión es una cuestión importante para la psicología social. Tampoco todos los fumadores acaban padeciendo cáncer de pulmón, pero además de investigar los procesos moleculares que hay detrás del cáncer, interesa conocer los factores relevantes que favorecen su desarrollo. La moral de todo ello es que es posible la compatibilidad de las distintas explicaciones (fisiológica y psicológica) si partimos de los niveles de explicación.

Haciendo balance de los dos últimos siglos de psicología experimental no podemos olvidar lo que significaron los trabajos de Piaget y la Escuela rusa de Luria y Vigotski, que mantuvieron el estudio de los fenómenos mentales durante la época del conductismo. Tampoco podemos eludir la figura de S. Freud en todo este panorama de la explicación de la mente. En el caso de Freud hay que distinguir, por un

lado, su aportación a una teoría neurobiológica de la mente y, por otro, el psicoanálisis como terapia para las disfunciones de la mente (tema no tratado en este trabajo). Su modelo neurofisiológico puede calificarse de reduccionista, al menos ésta era la intención, una cuestión distinta es que lo lograra. En cambio, el psicoanálisis es una propuesta de psicología aplicada pero al margen de su modelo neurobiológico. Analistas como F. Sulloway (1992) consideran que precisamente porque, dado el desarrollo de la neurología en aquel momento, Freud no logró una teoría biológica de la mente tal como hubiera deseado y, dada su personalidad no preparada para el fracaso, buscó una alternativa aunque no tuviera la base teórica para ello.

Finalmente, respecto a la influencia de las ciencias cognitivas en la psicología podemos concluir que la psicología teórica, en estos momentos, tiene dos pilares fundamentales: los modelos computacionales (no necesariamente simbólicos o conexionistas, sino que podrían añadirse los modelos dinámicos, la robótica, etc., aunque esto sería otra discusión) y la neurobiología (la investigación empírica del cerebro). Respecto a los modelos computacionales, uno de los criterios a tener en cuenta es la plausibilidad biológica. En cuanto a los modelos de Hobson y Damasio, más ligados a la neurobiología, serían como los modelos teóricos de la concepción semántico-modélica.

BIBLIOGRAFÍA

Allport, A. (1988), «What concept of consciousness?», en A. J. Marcel y E. Bisiach (eds.), *Consciousness in contemporary science*, Oxford University Press, Oxford.

Baars, B. (1986), *The cognitive revolution in psychology*, The Guilford Press, New York.

Balzer, W. (1999), «A Reconstruction of Sigmund Freud's Early Theory of the Unconscious», en H. Westmeyer (ed.), *Psychological Theories from a Structuralist Point of View*, Springer, Berlin, 13-31.

Barkow, J. H., Cosmides, L. y Tooby, J. (eds.) (1992), *The Adapted Mind. Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford University Press, Oxford.

Bechtel, W. y Mundale, J. (1999), «Multiple realizability revisited: linking cognitive and neural states»: *Philosophy of Science* 66, 175-207.

Bechtel, W. y Richarson, R. C. (1993), *Discovering Complexity: Decomposition and Localization As Strategies in Scientific Research*, Princeton University Press, Princeton.

Berthoz, A. (2000), *The brain's sense of movement*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Bickle, J. (1998), *Psychoneural reduction. The new wave*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Blumenthal, A. L. (1975), «A reappraisal of Wilhelm Wundt»: *American Psychologist* 30, 1081-1088.
Blumenthal, A. L. (1979), «Wilhelm Wundt, the founding father we never knew»: *Contemporary Psychology* 24 (7), 547-550.
Changeux, J.-P. y Ricoeur, P. (1998), *Ce qui nous fait penser: la nature et la règle*, Odile Jacob, Paris.
Churchland, P. S. (1983), «Consciousness: the transmutation of a concept»: *Pacific Philosophical Quarterly* 64, 80-95.
Churchland, P. S. (1988), «Reduction and the neurobiological basis of consciousness», en A. J. Marcel y E. Bisiach (eds.), *Consciousness in contemporary science*, Clarendon Press, Oxford.
Churchland, P. M. y Churchland, P. S. (1999), *On the contrary. Critical essays 1987-1997*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Clark, Andy (1987), «From folk psychology to naive psychology»: *Cognitive Science* 11(2), 139-154.
Clark, Andy (1998), «Time and mind»: *The Journal of Philosophy* 95(7), 354-376.
Clark, Andy (1999*a*), «An embodied cognitive science?»: *Trends in cognitive Sciences* 3(9), 345-351.
Clark, Andy (1999*b*), «Towards a cognitive robotics»: *Adaptive behavior* 7(1), 5-16.
Clark, Andy (2001), *Mindware. An introduction to the philosophy of cognitive science*, Oxford University Press, Oxford.
Clark, Andy y Chalmers, D. (1998), «The extended mind»: *Analysis* 58(1), 7-19.
Clark, Andy y Toribio, J. (1994), «Doing without representing?»: *Synthese* 101, 401-431.
Clark, Austen (1980), *Psychological models and neural mechanisms. An examination of reductionism in psychology*, Clarendon Press, Oxford.
Cowan, J. D. y Sharp, D. H. (1988), «Neural nets and artificial intelligence»: *Daedalus* 117, 85-121.
Damasio, A. (1999), *The feeling of what happens. Body and emotion in the making of consciousness*, A Harvest Book, San Diego.
Edelman, G. M. y Tononi, G. (2002), *El universo de la conciencia. Cómo la materia se convierte en imaginación*, Crítica/Drakontos, Barcelona.
Estany, A. (1996), «The role of methodology in models of scientific change», en G. Munevar (ed.), *Spanish Studies in the Philosophy of Science*, Kluver Academic Publishers, Boston.
Estany, A. (1999), *Vida, muerte y resurrección de la conciencia. Análisis filosófico de las revoluciones científicas en la psicología contemporánea*, Paidós, Barcelona.
Feldman, J. A. y Ballard, D. A. (1982), «Connectionist models and their properties: *Cognitive Science* 6, 205-254.
Fishman, D. B. (1999), *The case for pragmatic psychology*, New York University Press, New York.
Flanagan, O. (1992), *Consciousness reconsidered*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Gelner, T. van (1995), «What might cognition be, if not computation?»: *Journal of Philosophy* XCII (7), 345-381.
Green, Ch. D. (1998), «Are connectionist models theories of cognition?» (manuscrito).
Griffiths, P. E. (1997), *What emotions really are. The problem of psychological categories*, The University of Chicago Press, Chicago.
Haugeland, J. (1997), *Mind Design II. Philosophy, psychology, artificial intelligence*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Hobbs, J. R. y Moore, R. C. (1985), *Formal theories of the commonsense world*, Ablex Publishing, Norwood, NJ.
Hobson, J. A. (1999), *Consciousness,* Scientific American Library, New York.
Horgan, T. y Tienson, J. (1996), *Connectionism and the philosophy of psychology*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
James, W. (1890), *The principles of psychology*, Harvard University Press (1983), Cambridge, Mass.
Jeannerod, M. (1997), *The cognitive neuroscience of action*, Blackwell, Oxford.
Jordan, J. S. (ed.) (1999), *Modelling consciousness across the disciplines*, University Press of America, New York.
Karmiloff-Smith, A. (1992), *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Keikzer, F. A. (1998), «Doing without representations which specify what to do»: *Philosophical Psychology* 11 (3), 269-302.
Keller, C. H. M. y Keller, J. D. (1996), *Cognition and tool use: the blacksmith at work*, Cambridge University Press, New York.
Kelso, J. A. S. (1995), *Dynamic patterns: the self-organization of brain and behaviour*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Kirlik, A. (1998), «Everyday life environments», en W. Bechtel y G. Graham (eds.), *A companion to cognitive science*, Blackwell, Oxford.
Kirsh, D. y Maglio, P. (1994), «On distinguishing epistemic from pragmatic action»: *Cognitive Science* 18, 513-549.
Lakoff, G. y Núñez, R. E., *Where mathematics come from. How the embodied mind brings mathematics into being*, Basic Books, New York.
Lewicki, P., Hill, T. y Czyzewska, M. (1992), «Non conscious acquisition of information»: *American Psychologist* 47 (6), 796-801.
MacKay, D. G. (1987), *The organization of perception and action*, Springer, New York.
MacNamara, J. (1999), *Through the rearview mirror. Historical reflections on psychology*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Marcel, A. y Bisiach, E. (eds.) (1988), *Consciousness in contemporary science*, Clarendon Press, Oxford.
McCauley, R. N. (1996), «Levels of explanation and cognitive architectures», en W. Bechtel y G. Graham (eds.), *A companion to cognitive science*, Blackwell, Oxford.
McClamrock, R. (1995), *Existential cognition. Computational minds in the world*, The University of Chicago Press, Chicago.
McClelland, J. L., Rumelhart, D. E. y Hilton, G. E. (1986), «The appel of parallel distributed processing», en J. L. McClelland y D. E. Rumelhart, *Pa-*

rallel distributed processing: Explorations in the microstructures of cognition vol. 1, The MIT Press, Cambridge, Mass.
McGinn, C. (1989), «Can we solve the mind-body problem?»: *Mind* XCVIII (391), 349-366.
Milner, A. D. y Goodale, M. A. (1995), *The visual brain in action*, Oxford University Press, Oxford.
Mitchell, M. (1999), «Can evolution explain how the mind works?»: *Complexity* 4 (3), 17-24.
Nagel, T. (1965), «Physicalism»: *Philosophical Review* 74, 339-356.
Nagel, T. (1974), «What is it like to be a Bat?»: *Philosophical Review* 83, 435-450.
Norman, D. A. (1993), *Things that make us smart. Defending human atributes in the age of the machine*, Perseus Books, Cambridge, Mass.
Pinker, S. (1997), *How the mind works*, W. W. Norton, New York.
Port, R. F. y Van Gelder, T. (eds.) (1995), *Mind as motion. Dynamics, behavior, and cognition*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Ramsey, W., Stich, S. P. y Rumelhart, D. E. (1991), *Philosophy and connectionist theory*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New York.
Reber, A. S. (1993), *Implicit learning and tacit knowledge. An essay on the cognitive unconscious*, Oxford University Press, Oxford.
Rose, H. y Rose, S. (2000), *Alas, poor Darwin. Arguments against evolutionary psychology*, Jonathan Cape, London.
Schneider, W. (1987), «Connectionism: is it a paradigm shift for psychology?»: *Behavior research, methods, instruments & computers*» 19 (2), 73-83.
Schwartz, J. T. (1988), «The new connectionism: developing relationships between neuroscience and artificial intelligence»: *Daedalus* 117, 123-141.
Sober, E. (1999), «The multiple realizability argument against reductionism»: *Philosophy of Science* 66, 542-564.
Smolensky, P. (1988), «On the proper treatment of connectionism»: *Behavioral and Brain Sciences* 11, 1-74.
Sulloway, F. (1992), *Freud biologist of the mind. Beyond the Psychoanalytic legend*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
Sutherland, S. (1995), *Irrationality. Why we don't think straight!*, Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey.
Thelen, E. y Smith, L. B. (1994), *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
Tooby, J. y Cosmides, L. (1992), «The psychological foundations of culture», en I. Barkow, L. Cosmides y J. Tooby (eds.), *The Adapted Mind...*, Oxford University Press, New York, 19-136.
Van Gelder, T. (1995), «What might cognition be, if not computation?»: *The Journal of Philosophy* XCI (7), 345-381.
Wertsch, J. V. (1998), *Mind as action*, Oxford University Press, Oxford.
Wilkes, K. V. (1988), «Pragmatics in science and theory in common sense»: *Inquiry* 27, 339-361.
Wundt, W. (1912), *An introduction to psychology*, Allen & Unwin, London (MIKRO-BUK, INC., New York, 1970; Arno Press, New York, 1973).

EL ETERNO RETORNO DE CALICLES.
(SOBRE FILOSOFÍA, RELATIVISMO Y CIENCIAS SOCIALES)

Antoni Domènech

En los ambientes académicos que tienen que ver con la filosofía, las humanidades y, en un sentido laxo, las ciencias sociales, se ve desde hace años penetrar con fuerza creciente, casi avasalladora, la idea de que la apelación a la «objetividad», a la «verdad», a la «bondad» o a la «racionalidad», en alguno de los frecuentes sentidos que suelen atribuirse a esos términos polisémicos, es o una ilusión —una adhesión a un ídolo mítico—, o, en el peor de los casos, un embozo destinado a cubrir una mera «voluntad de poder».

Parece fácil despedir esa tesis mostrando, como hace cerca de 2.400 años hizo Sócrates con Calicles (*Gorgias*, 490 ss.), que quien sostiene que todas las verdades y todos los bienes son serviciales (es decir, que militan banderizamente en favor de quien los defiende) parece colocarse en una situación o autorrefutatoria o, más en general, autonulificatoria: pues, o bien la afirmación de que todas las verdades son serviciales no es ella misma servicial —sino que se hace por puro amor a la verdad—, en cuyo caso el autor nos debería, cuando menos, la explicación de por qué precisamente la suya no lo es; o bien es servicial también ella —y quien la profiere, lo hace también *pro domo sua*—, en cuyo caso el autor perdería cuando menos el crédito de su agudeza, porque sólo los tontos enseñan las cartas marcadas[1].

1. En el *Gorgias*, Platón nos presenta a un Calicles que, como antes Gorgias y Polo, se amedrenta ante el terrorífico dilema socrático: no quiere ser ni un dogmático cerril —aferrado a la idea de que sólo él, inexplicablemente, es capaz de sostener una verdad objetiva y no relativa—, ni menos un tonto —el único que revela su conducta tramposa—. Algunos discípulos actuales de Calicles parecen más temerarios: Bruno Latour y Steven Woolgar (*Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*, Sage, London, 1979) no tienen empacho en declarar que pertencen al género de los

Sin embargo, desde la sofístisca antigua hasta el postmoderno «nihilismo de cátedra» recientemente vapuleado por Searle[2], pasando por la *jeunesse dorée* nietzscheana del penúltimo cambio de siglo, el «error» de Calicles es suficientemente recurrente en la historia del pensamiento filosófico como para que nos paremos a estudiarlo tomando más precauciones. Es posible que el secreto de su evieterna ciclicidad radique, como pasa con ciertos virus, en una capacidad para mutar sorpresivamente de forma según el medio circundante. Ya Sócrates se lo espetó a Calicles:

> Tú me criticas a mí por decir una y otra vez lo mismo; yo te reprocho a ti lo contrario, no decir nunca dos veces lo mismo sobre el mismo asunto (*Gorg.* 491b).

En este trabajo me propongo explorar el «error» de Calicles con cierto detalle. Primero haré una distinción entre las razones (epistémicas) que tenemos para creer algo y las causas (cognitivas, o sociológicas) que pueden ayudar a explicar que lo creamos[3]. Presentaré una primera versión posible del argumento, la Tesis-1 de Calicles, que consiste en negar esa distinción pretendiendo que sólo hay causas cognitivas y sociológicas, no razones epistémicas.

Una segunda variante, la Tesis-2 de Calicles, consiste en negar también la distinción entre razones y causas, pero afirmando esta vez que lo que no hay son causas en general, ni en particular causas cognitivas o sociológicas, *sino sólo razones* y motivaciones subjetivas de los agentes sociales. Ahora, en un mundo en el que sólo hubiera razones, nunca podría haber buenas razones epistémicas; todo en ese mundo habría sido socialmente construido, también la pretendida objetividad a la que apelarían las sedicentemente buenas razones epistémicas. La Tesis-2 de Calicles, pues, consiste en la doblemente pro-

tontos dispuestos a enseñar las cartas marcadas. Considérese lo que implican, juntas, estas dos afirmaciones: «El fraude y la honestidad no son dos tipos de comportamiento completamente distintos; son estrategias, cuyo valor relativo depende de las circunstancias y del estado en que se halle el campo agonístico (de la ciencia)» (260); y «Obviamente, nuestra propia tesis no puede escapar a las condiciones de su propia construcción. ¿De qué tipo de desorden sale nuestra tesis? ¿En qué campo agonístico tenemos que situar las diferencias entre el hecho y la ficción?» (252-253).

2. J. Searle, «Rationality and realism. What is at stake?»: en *Daedalus* (otoño de 1993), pp. 55-83. Véase también, del mismo autor, *La construcción de la realidad social*, trad. de A. Domènech, Paidós, Barcelona, 1997.

3. En todo este trabajo, cuando se habla de «explicar», se hace en el sentido moderado de David Lewis, de acuerdo con el cual explicar algo es proporcionar alguna información sobre su historia causal. Cf. *Philosophical Papers*, vol. 2, Oxford University Press, Oxford, 1986, cap. 22.

blemática afirmación de que *a*) todo es ontológicamente subjetivo, y *b*) nada epistémicamente objetivo puede decirse sobre lo que es ontológicamente subjetivo.

Luego consideraré una tercera posibilidad, que es la que más me va a entretener. Se trata de una mutación, la Tesis-3 de Calicles, que aceptaría galanamente la distinción entre razones epistémicas y causas cognitivas y sociológicas, para situar el problema en otro lado. Es casi una perogrullada decir que las razones epistémicas pueden entrar en conflicto con algún otro tipo de razones no epistémicas (por ejemplo, de autopreservación psicológica —de *conservatio sui*—, o de táctica política, etc.). Partiendo de esa obviedad, la Tesis-3 de Calicles consistiría entonces en el aserto según el cual no hay circunstancia cognitiva, social ni institucional factible que pueda ser conceptual o causalmente responsable de que las razones epistémicas *se impongan a, o prevalezcan sobre,* las razones no epistémicas.

1. RAZONES (EPISTÉMICAS) Y CAUSAS (COGNITIVAS Y SOCIOLÓGICAS)

Hace cerca de cien años, uno de los fundadores de la teoría sociológica y de la teoría económica académica contemporáneas, el fértil Vilfredo Pareto, escribió que «La lógica inquiere por qué un razonamiento es erróneo; la sociología, por qué consigue un asentimiento frecuente». Obsérvese que la tarea que Pareto encomendaba a la «lógica» (o a la epistemología en general, diríamos hoy) es normativa, y consiste en distinguir los razonamientos correctos de los incorrectos. O, dicho de otra manera, Pareto entiende que la «lógica» es suministradora de razones, de *buenas razones*, en favor o en contra de determinados productos intelectuales (razonamientos, creencias, etc.). En cambio, la «sociología» se ocuparía de otra cuestión, de una cuestión de todo punto fáctica, no normativa, a saber: por qué son tan frecuentes los razonamientos reputados erróneos por la «lógica». La «sociología» se ocuparía *descriptivamente* de las *causas* que explican la frecuencia con que se dan, de hecho, determinados productos intelectuales, buenos o malos; la «lógica» se ocuparía, en cambio, *normativamente* de las *razones epistémicas* en favor y en contra de determinados productos intelectuales[4].

Huelga decir que la distinción entre las *causas* de que determinados productos intelectuales pueblen nuestra mente (creencias, prefe-

4. En la misma línea, y por la misma época, Frege: «Como la ética, también la lógica puede considerarse una ciencia normativa» (G. Frege, «Logic», en *The Frege Reader*, ed. de Michael Beaney, Blackwell, Oxford, 1997, p. 28).

rencias, esquemas de inferencia, etc.) y las *razones* que podamos tener para albergarlos es una distinción por lo pronto basada en el supuesto de que nuestras mentes no son sistemas cognitivos ideales u óptimos. En el supuesto, esto es, de que nuestras mentes *no* albergan muchas representaciones que, desde un punto de vista epistémico, resultarían cognitivamente optimizadoras, y en cambio *sí* albergan otras que estorban a una representación epistémicamente óptima. Sólo en un sistema cognitivo idealmente optimizador —el *intellectus archetypi* kantiano— podría borrarse la distinción entre las causas cognitivas y las razones epistémicas.

Ahora, alguien podría preguntarse si un *intellectus ectypi* limitado y subóptimo como el nuestro[5] puede tratar de regularse y criticarse a sí propio o, por decirlo con un giro también kantiano, autolegislarse. Por ejemplo, yo puedo albergar en mi mente un conjunto de creencias. En principio, ese conjunto de creencias puede ser inconsistente. ¿Están entre las facultades de un *intellectus ectypi: a*) la de pretender o desear la consistencia y *b*) la de conseguir, ya sea parcialmente, consistencia? Un *intellectus ectypi* que tuviera esas facultades tendría no sólo intencionalidad de primer orden —capacidad para albergar una población de representaciones—, sino también *intencionalidad de segundo orden*, es decir, una capacidad, más o menos limitada, para albergar representaciones de sus propias representaciones, para tener creencias sobre sus creencias (metacreencias), preferencias sobre sus propias preferencias (metapreferencias), preferencias sobre sus creencias (por ejemplo, prefiriendo unas creencias consistentes) y creencias sobre sus preferencias (consciencia de albergar una preferencia)[6].

(Ésta es una distinción que puede parecer trivial, pero que reviste una gran importancia. Para salir por un momento del marco puramente filosófico, se puede recordar cuán importante es la distinción

5. «... si a la vista del objeto lo que en nosotros se llama representación fuera activa, esto es, si bastara tenerlo a la vista para que resultara el objeto, según suelen concebirse los conocimientos divinos como imágenes originarias de las cosas, entonces también podría entenderse la conformidad de los conocimientos con los objetos. Se nos ofrece, pues, tanto la posibilidad del *intellectus archetypi*, en la visión del cual se fundan las cosas mismas, como del *intellectus ectypi*, los datos de cuya elaboración lógica se agotan en la visión sensible de las cosas. Sólo que las representaciones de nuestro entendimiento no lo convierten en causa del objeto (salvo en la moral de los buenos fines), ni es el objeto la causa de las representaciones del entendimiento (*in sensu reali*)» (Kant, Carta a Marcus Herz, 21 de febrero de 1772, en *Briefwechsel*, Felix Meiner, Hamburg, 1972, p. 101).

6. El léxico de esta distinción expresa entre la intención de primer orden (*prima intentio*) y la de segundo orden (*secunda intentio*) procede de Occam: *Tractatus* [*Summa*] *Logicae* I, 11 y I, 40.

para la sociología y la antropología de las religiones. Si el estudio científico-social de las creencias religiosas confundiera el plano cognitivo y el plano epistémico —como hace a menudo, dicho sea de paso—, todos los fieles de una religión serían tratados *eo ipso* como teólogos de la misma —y todas las religiones, como religiones con sobrestructura teológica—. Una cosa es describir y explicar socio-cognitivamente una población de creencias religiosas tal como se distribuyen entre las mentes de los individuos que componen una cultura; otra muy distinta hacer interpretaciones radicales de esas creencias como sistemas abstractos y relativamente coherentes a los que los antropólogos, lo mismo que algunos miembros distinguidos de la cultura en cuestión, pueden —o no— tratar de dar sentido epistémico[7].)

En un paso de intenso dramatismo dialógico del *Gorgias*, Calicles niega la intencionalidad de segundo orden. Contraponiendo, al modo característico de cierta sofística, *nómos* (ley) a *phýsis* (naturaleza), Calicles presenta toda pretensión normativa como una añagaza, como una ilusión interesada propagada por los que por naturaleza son «débiles» para subyugar a los «fuertes» por naturaleza. El «fuerte» por naturaleza no se hace la ilusión de que se legisla a sí propio —ni ética ni epistémicamente—, sino que se abandona a los deseos y las creencias —a los estados intencionales de primer orden— que pueblan su mente:

> *Cal.*: ¡... tú llamas sabios, Sócrates, a los imbéciles!
> *Soc.*: ¿Y eso? Todo el mundo puede ver que no hablo de imbéciles.
> *Cal.*: De ellos hablas, Sócrates, y bien expresamente. ¿Quién, en efecto, puede ser feliz siendo esclavo de algo? No; lo bello y lo justo, de acuerdo con la naturaleza, es lo que yo trato de explicarte sin afeites, a saber: que para vivir bien es necesario albergar uno mismo las más intensas pasiones, en vez de someterlas, y que por fuertes que sean esas pasiones, hay que disponerse a darles satisfacción con coraje e inteligencia, procurándoles todo lo que desean» (*Gorg.* 491e-492a)[8].

7. Cf. P. Boyer, *The Naturalness of Religious Ideas*, UCLA Press, Los Angeles, 1994, pp. 50 ss., para la importancia de esa distinción en el estudio antropológico de las ideas religiosas.

8. Obsérvese que la posición de Calicles está a un paso de la inconsistencia, pues él mismo parece recomendar *normativamente* el abandonarse a la tiranía de las pasiones. El discípulo de Calicles Friedrich Nietzsche dio ese paso, como es bien sabido, al recomendar el *amor fati* con maestría expresiva difícilmente superable: «Liebe dein eigenes Schicksal!», ¡ama tu propio destino! Esa recomendación, por repugnante que a muchos nos pueda parecer, es abiertamente normativa. Es decir, para que alguien pueda seguirla, necesita tener intencionalidad de segundo orden, facultades autolegislativas. Me he ocupado de este asunto con cierta extensión en *De la ética a la política*, Crítica, Barcelona, 1989, cap. II.

Ahora estamos en condiciones de formular el «error-1» de Calicles como la tesis según la cual:

Tesis-1 de Calicles: *No hay intencionalidad de segundo orden y, por lo tanto, las supuestas razones epistémicas —como todas las pretensiones normativas— son una ilusión; sólo hay intencionalidad de primer orden y, por lo tanto, sólo hay causas cognitivas*.

Para que todos nos hagamos una idea aproximada de lo que esto puede querer decir, veamos algunas implicaciones de esta tesis en el debate epistemológico de nuestros días. Como es sabido, la filosofía analítica estándar de la ciencia se entendió a sí misma como una empresa normativa, no descriptiva. Ahora están saludablemente de moda las críticas *naturalistas* de la epistemología analítica tradicional. Esas críticas naturalistas pueden ser de dos tipos: 1) críticas que insistan en que el «debe» implica lógicamente el «puede», y por lo tanto, en que una disciplina normativa racional (la filosofía del conocimiento, la filosofía política, etc.) está obligada a explorar también las condiciones de factibilidad de sus *desiderata*[9]; o bien 2) críticas que respondan a un programa naturalizador fuerte de la epistemología, un programa que insista en que la tarea de la epistemología y de la filosofía de la ciencia es puramente descriptiva: estudiar la ciencia y los productos cognitivos tal como son, sin mayores pretensiones normativas. Esta segunda versión, el programa naturalista fuerte, podría caer fácilmente en el error de la Tesis-1 de Calicles. He aquí por qué:

Un programa naturalista fuerte puede querer decir una de las siguientes dos cosas: *a*) El estudio de la ciencia y de los productos cognitivos ha de ser básicamente descriptivo, ha de ser un estudio de las causas (cognitivas, sociológicas, etc.) que dan lugar a los productos estudiados. Contra esto no hay mucho que decir aquí en principio: la sociología de la ciencia, la antropología de la ciencia, la teoría económica de la ciencia y la psicología de la ciencia son disciplinas perfectamente legítimas. O bien, *b*) el estudio de la ciencia y de los productos cognitivos no puede en ningún caso incorporar elementos normativos (es decir, toda la tradición analítica en filosofía de la ciencia y en epistemología andaría completamente extraviada).

Ahora bien, esto último puede tratar de justificarse al menos desde dos puntos de vista: *b'*) Los agentes cognitivos —los científicos— son agentes intencionales de primer orden, no de segundo orden: ellos mismos no albergan razones epistémicas —intencionalidad de

9. He defendido esta posición, la de un naturalismo normativista, en «Racionalidad económica, racionalidad biológica y racionalidad epistémica», en M. Cruz (comp.), *Acción humana*, Ariel, Barcelona, 1997.

segundo orden—, son, digámoslo así, puros autómatas a merced de sus resortes cognitivos. O *b''*) los agentes cognitivos sí albergan razones epistémicas, pero ilusorias, y los estudiosos de los procesos cognitivos no pueden extraer ninguna conclusión normativa ellos mismos del estudio de las pretensiones normativas ilusorias de los agentes cognitivos estudiados: a lo sumo, pueden tratar de explicar causalmente cómo surgen esas ilusiones normativas que son las razones epistémicas de los agentes cognitivos, por ejemplo —por señalado ejemplo—, apuntando al hecho de que esas ilusiones están puestas al servicio de alguna voluntad de poder.

Tanto la tesis *b'*, como la *b''*, caen en el error de Calicles. El argumento en que se sostiene *b'* sería un pésimo fundamento para un estudio científico-social empírico de la ciencia, pues parece muy obvio que la actividad científica, a diferencia, por ejemplo, del grueso de (no de toda) la actividad religiosa, es una actividad que implica la intención de segundo orden de decir algo coherente y cognitivamente significativo sobre el mundo. Así como una antropología de la religión que no distinguiera el plano cognitivo del plano epistémico tomaría a todos los fieles de una religión por teólogos de la misma, así también una sociología de la ciencia que no admitiera intencionalidad epistémica de segundo orden en los agentes cognitivos por ella estudiados no podría perfilar siquiera su objeto de estudio: la actividad científica no podría distinguirse de otras actividades cognitivas culturalmente relevantes y socialmente institucionalizadas, como la propia religión[10].

El argumento subyacente en *b''* se enfrentaría, por su parte, a un dilema típicamente socrático. O bien es autorrefutatorio: si las razones epistémicas de los agentes cognitivos son puramente ilusorias y no puede extraerse de ellas criterio normativo confiable alguno, lo mismo vale para los estudiosos de esos agentes cognitivos, también sus razones serían ilusorias, y el estudio naturalista, la explicación causal —cognitiva y/o sociológica— del proceso científico, sería puramente arbitrario. O bien es autonulificatorio en un sentido más general: al desenmascarar las ilusiones normativas de los científicos como tácitas estrate-

10. «Las negociaciones respecto de lo que haya de valer como una demostración o lo que sea un buen experimento no son ni más ni menos desordenadas que cualquier argumento entre abogados o políticos» (B. Latour y S. Woolgar, *op. cit.*, p. 237). En una aguda observación, Aristóteles señaló ya que este tipo de argumentos autonulificantes tienden precisamente a borrar toda distinción conceptual, a sumergirse en una noche en la que todos los gatos son pardos: «Si todas las contradicciones fueran verdaderas a la vez del mismo sujeto, es evidente que todas las cosas serán una sola. La misma cosa sería, en efecto, trirreme y muro y hombre, si es que un predicado puede afirmarse o negarse de todo...» (*Metafísica*, 1007b, 18-22).

gias agonísticas al servicio de alguna voluntad de poder, hago explícitas las mías propias, y descubro neciamente mi voluntad de poder[11].

Cuando yo era joven, corría por la Universidad de Francfort la leyenda de un supuesto debate reciente entre un psicólogo conductista y un lingüista anticonductista. El lingüista, con evidente mala baba socrática, habría preguntado al conductista: «¿Por qué cree usted que la selección por refuerzo puede explicar *toda* la conducta humana?». El psicólogo, que además de conductista no debía ser muy inteligente, cayó en la trampa: «Porque estoy programado por refuerzo para creerlo». Es decir, el psicólogo conductista, empeñado en negar la intencionalidad de segundo orden y las razones epistémicas, metió calicleanamente la pata y, ante un auditorio —se decía— de no menos de 50 personas, hizo una exhibición casi insuperable de tenacidad en el error de la Tesis-1... y, por supuesto, el ridículo. He de decir que nunca conseguí una narración de primera mano de ese diálogo. Algunos sospechamos que no era sino un chiste contado en clase por Hilary Putnam (aquel año —1979— profesor invitado en la Universidad Goethe). *Ma, se non è vero, è benissimamente trovato*.

2. UN MUNDO DE MERAS RAZONES

Venimos ahora a la Tesis-2 de Calicles. Tampoco aquí se admite la distinción entre las causas (cognitivas o sociológicas) de una representación y las razones (epistémicas) de la misma. Pero lo que ahora está en disputa no es la existencia de razones, sino la existencia de causas. O dicho de otro modo, lo que ahora parece afirmarse es, no que no haya intencionalidad de segundo orden, sino exactamente lo contrario («nunca dices dos veces lo mismo sobre el mismo asunto, Calicles»), y es a saber: que *sólo hay intencionalidad de segundo orden*.

Que sólo haya intencionalidad de segundo orden quiere decir, en este contexto, que todo, absolutamente todo, está construido por las razones de los agentes cognitivos, o como está de moda decir ahora, que todo está socialmente construido. Un átomo, una hebra de ADN, una galaxia y los Pirineos, lo mismo que la estructura social de Alemania, el dinero o la institución matrimonial, todo son construcciones sociales, meros resultados de la interacción de las razones de los agentes cognitivos.

11. Para una excelente y muy recomendable crítica de los intentos de fundar el relativismo filosófico en explicaciones sociológicas, cf. U. Moulines, «La incoherencia dialógica del relativismo sociológico», en Íd. (1993).

Eso tiene la siguiente consecuencia importante: en un mundo en el que sólo hay razones, no hay lugar precisamente para las *razones epistémicas*. Pues las (buenas) razones epistémicas presuponen un mundo causal objetivo, más o menos independiente de los deseos, las preferencias, las expectativas y el acuerdo de los agentes cognitivos. Ahora estamos en condiciones de formular la

Tesis-2 de Calicles: *Todo es una construcción social resultante de la interacción de las distintas razones de los agentes cognitivos; las razones epistémicas son una ilusión, pues no hay nada objetivo a lo que apelar, no hay nada independiente del acuerdo o el desacuerdo humanos; nada, pues, en que fundar buenas razones epistémicas. Porque las buenas razones epistémicas objetivas sólo podrían apelar a ontologías objetivas.*

En esta formulación hay dos afirmaciones distintas, las dos falsas: primero está la afirmación de que todo es ontológicamente subjetivo, es decir, que no hay nada independiente del acuerdo o de las razones subjetivas de los agentes cognitivos; luego está la afirmación de que nada epistémicamente objetivo puede fundarse en una ontología subjetiva. Empecemos con la primera afirmación, que es aquí la decisiva.

Que todo es ontológicamente subjetivo o construido socialmente quiere decir, por ejemplo, que los átomos de hidrógeno no son sino una construcción socio-cognitiva de los físicos y de los químicos, y que tienen el mismo estatus ontológico subjetivo que, pongamos por caso, el dios Moloch, la cotización del euro o la institución matrimonial[12]. Este punto de vista se sostiene comúnmente en dos tipos de errores argumentativos.

Algunas veces se confunde el hecho objetivo mismo, por ejemplo, el hecho de que el Canigó esté nevado, hecho que es completamente independiente del acuerdo humano, con el enunciado lingüístico del hecho, es decir, con el enunciado «El Canigó está nevado», el cual enunciado, como todo lenguaje, sí está socialmente construido, es dependiente del acuerdo humano y es, por lo mismo, ontológicamente subjetivo.

Casi siempre se malentiende completamente la lógica de la construcción social de la realidad. Pues la construcción por agentes cognitivos humanos de un hecho social o institucional se basa en una atribución colectiva de función a algo[13]. Algunas atribuciones de función,

12. La biblia del construccionismo sociológico es P. L. Berger y T. Luckman, *The Social Construction of Reality*, Penguin, London, 1969. Aplicación extremosa de ese punto de vista, aunque mucho menos refinada, es Latour y Woolgar (1979).

13. Es excelente en este punto el libro de John Searle sobre *La construcción de la realidad social*, cit.

además de ser colectivas, son públicas. Por ejemplo, el hecho de que este trozo de fibras de celulosa tintadas de azul *sea* un billete de 20 euros depende crucialmente de que nosotros le asignemos no sólo colectiva, sino *públicamente* la función de *valer por* un billete de 20 euros[14]. A un conjunto de piezas de madera ensambladas de determinado modo podemos limitarnos a atribuirle *colectivamente* la *función de valer* por una silla (ponernos todos de acuerdo en que esto *es* una silla). Pero para que un determinado trozo de fibras de celulosa tintado de azul valga por un billete de 20 euros es necesario, además, que esa atribución colectiva de función sea *pública*: no basta con que todos estemos de acuerdo en que esto *es* un billete de 20 euros (podría ser una falsificación físicamente indistinguible); para que lo sea de verdad es necesario que resulte de un proceso gobernado por un principio de publicidad (que esté emitido por una autoridad públicamente legitimada, de grado o de fuerza, para hacerlo). La atribución pública de función a algo —la construcción pública de un hecho social— presupone una comunidad de juicio normativo —una asociación de psicologías intencionales de segundo orden que se reconocen mutuamente como tales—. Para la mera atribución colectiva de función a algo —para la construcción colectiva de un hecho social—, podría bastar o una colección de psicologías intencionales de primer orden (el enjambre atribuye colectivamente a uno de sus miembros la función de valer por la abeja reina), o una colección de psicologías intencionales de segundo orden que no se reconocen mutuamente como tales. Así, por ejemplo, en la colección de psicologías intencionales de segundo orden que es el *oikos*, amo y esclavo —*doulos* y *despotés*— atribuyen colectivamente a la tierra en la que viven la función de valer por una heredad, construyen socialmente el hecho de la heredad, pero no públicamente, porque el *despotés* no reconoce en el *doulos* una psicología intencional de segundo orden, sino que lo considera, como Aristóteles, un *organon empsychon*, un mero instrumento animado o, como el derecho romano, un simple *instrumentum vocale*[15].

14. J. Searle, *ibid*., no siempre distingue con buen criterio entre estos dos tipos (colectivo y público) de atribución de función.

15. Amo y esclavo no pueden formar en ningún caso una comunidad de juicio normativo, condición necesaria de la cual es que todos sus miembros sean libres en el sentido republicano tradicional de la palabra, es decir, sean considerados fines en sí mismos. En cambio, la asociación de hombres libres (*koinonía politiké*) que es la *pólis* propiamente dicha sí atribuye *públicamente* a la tierra en cuestión la función de ser una heredad poseída y dominada por nuestro *despotés*: pues los *despotoi* forman todos parte de una comunidad normativa de juicio, formada por individuos *sui iuris* —de derecho propio—, ante la que está públicamente legitimada la autoridad que reconoce y re-

La forma lógica de ese tipo de atribución de función (tanto colectiva como pública) es siempre «X vale por (cumple la función) Y en el contexto C». Ni que decir tiene que las atribuciones de función pueden ir en cascada, de modo que en la construcción de nuestra compleja vida social, diariamente, atribuimos funciones a funciones, las cuales están atribuidas a otras funciones previamente atribuidas, etc. Por ejemplo, una tarjeta de crédito vale por billetes, los cuales —si son dólares— valen por oro, el cual vale por..., etc. Pero el punto crucial es siempre éste: por compleja que llegue a ser la atribución en cascada de funciones sobre funciones y de construcciones sociales sobre construcciones sociales, al final de todo, para que el entero edificio constructivo tenga sentido, necesita un basamento firme que sea completamente independiente del acuerdo humano: el que algo sean veinte euros es ontológicamente subjetivo, pero para su construcción social hemos tenido que atribuir una función a algo que *no es socialmente construido*, sino totalmente independiente del acuerdo humano: las fibras tintadas de celulosa, el lingote de oro, o una huella en una banda magnética. En una palabra: la idea misma de construcción social con razones subjetivas de los agentes cognitivos *presupone conceptualmente* un mundo causal objetivo independiente del acuerdo humano. Decir, por tanto, que todo es socialmente construido es autorrefutatorio[16].

Otra forma de verlo es la siguiente: sostener que los agentes viven en un mundo en el que sólo hay razones subjetivas y construcciones sociales dimanantes de esas razones es como sostener que fuera de la intencionalidad de segundo orden de los agentes no hay nada, que esos agentes flotan libremente sin ancla alguna hincada —o hincable— en algún suelo objetivo (independiente de sus razones). Pero entonces difícilmente podrán esos agentes reconocerse mutuamente como psicologías intencionales de segundo orden. Pues como advirtió lúcidamente Bertrand Russell ya en 1907 (criticando el relativismo de la teoría pragmatista norteamericana de la verdad):

> La teoría pragmática de la verdad está inherentemente conectada con la apelación a la fuerza. Si hay alguna verdad no humana [objetiva]

gistra iuspúblicamente la posesión y el dominio de sus tierras —incluida la posesión y el dominio de sus respectivos *douloi*, que son *alieni iuris*, sujetos de derecho ajeno, «alienados», es decir, excluidos a la fuerza de la comunidad de juicio normativo que es la *pólis*—. Más adelante habrá ocasión de ver la importancia de esta distinción entre lo público y lo colectivo.

16. La mejor presentación, con mucho, de esta lógica de la construcción social se halla en J. Searle, *La construcción de la realidad social*, *op. cit*. El libro de Searle contiene además una crítica devastadora del extremismo constructivista.

> que uno pueda conocer, y otro, no, tenemos un criterio al margen de los disputantes, un criterio al que poder someter la disputa [...]. Pero si, al contrario, la única manera de descubrir cuál de los disputantes lleva razón es esperar y ver quién gana, entonces no hay otro principio que el de la fuerza para decidir el asunto[17].

Ahora bien; el mutuo reconocimiento de la intencionalidad de segundo orden es condición necesaria para que se constituya una comunidad de juicio normativo. Quien, pues, afirma que sólo hay razones e intencionalidad de segundo orden, acaba negando por implicación su propia pertenencia a una comunidad de juicio normativo, se autoanula como miembro de esa comunidad.

Vamos ahora a la segunda afirmación ínsita en la Tesis-2 de Calicles, la afirmación según la cual nada epistémicamente objetivo puede decirse de lo que es ontológicamente subjetivo. Esta afirmación, aunque es menos importante para lo que aquí interesa que la anterior[18], tampoco se sostiene. Un billete de 20 euros es un ente ontológicamente subjetivo en el sentido de que, para su existencia, depende crucialmente del acuerdo humano. Pero eso no quiere decir que el juicio «Esto es un billete de 20 euros» sea un juicio epistémicamente subjetivo; al contrario, es un juicio epistémicamente objetivo porque su verdad no depende de las preferencias o de las creencias de ningún

17. Citado por el propio Russell en su *The Impact of Science in Society*, Unwin, London, 1976, p. 94. Para las implicaciones políticas de este tipo de relativismos filosóficos en el siglo XX, cf. A. Domènech, *El eclipse de la fraternidad*, Crítica, Barcelona, 2004, § 29. No puedo resistir la tentación de transcribir este texto tomado de un artículo de Ron Suskind («Without Doubts»), aparecido en el *New York Times* del día en que estoy escribiendo esta nota (19 de octubre de 2004): «En el verano de 2002, luego de haber escrito un artículo en *Enquire*, mal visto por la Casa Blanca, sobre la anterior directora de comunicaciones, Karen Hughes, tuve una reunión con un veterano consejero de Bush. Me expresó el disgusto de la Casa Blanca, y entonces me dijo algo que no acabé de comprender en aquel momento, pero que ahora veo como el núcleo mismo de la presidencia de Bush. El consejero dijo que los tipos como yo pertenecíamos a 'lo que nosotros llamamos la comunidad basada en la realidad (*reality-based community*)', a quienes definió como gente que 'creéis que las soluciones surgen de vuestro estudio sensato de la realidad discernible'. Yo vacilé y murmuré algo sobre los principios de la Ilustración y del empirismo. Me cortó. 'Ya no es así como funciona realmente el mundo', continuó. 'Ahora somos un Imperio, y cuando actuamos, creamos nuestra propia realidad. Y mientras tú estás estudiando esa realidad —todo lo sensatamente que quieras—, actuamos de nuevo, creando otras realidades *nuevas*, que puedes a su vez estudiar, y así van a ir yendo las cosas. Nosotros somos agentes de la historia..., y tú, y todos vosotros, quedaréis reducidos a estudiar lo que nosotros hacemos'».

18. Es muy importante en sí misma, no obstante. Pues, en la medida en que buena parte de la realidad social está diseñada por los agentes cognitivos —está «socialmente construida»—, si la subjetividad ontológica implicara subjetividad epistémica, no habría posibilidad de ciencia social *überhaupt*.

agente cognitivo en particular. Sólo a vuestra costa negaréis que un billete de 20 euros es un billete de 20 euros. (Y dicho sea de paso: también pueden hacerse juicios epistémicos subjetivos sobre entes ontológicamente objetivos: «Me gusta el Canigó» es un juicio epistémicamente subjetivo sobre algo ontológicamente objetivo.)

3. EL CONFLICTO DE LAS RAZONES EN UN MUNDO DE CAUSAS

La tercera mutación del «error» de Calicles acepta la distinción entre causas cognitivas o sociológicas y razones epistémicas. El problema ahora es que las razones epistémicas no son las únicas razones que albergamos. Son sólo un componente —y está por ver cuán importante— del heterogéneo conjunto de razones con que los agentes cognitivos dotados de intencionalidad de segundo orden tratan de orientar su acción. Si sólo tuviera razones epistémicas, o si éstas tuvieran el mando absoluto, la zorra a la que le está vedado el acceso a las uvas nunca generaría la creencia de que «están verdes». Toda la evidencia empírica del mundo puede hablar en favor de que tengo una enfermedad terminal que me da una esperanza de vida de dos semanas; y sin embargo yo puedo negarme, tal vez racionalmente, a creer eso[19]. Toda la evidencia objetiva disponible después de 1937 favorecía la conclusión de que el régimen político de Stalin fue una tiranía terrorista, pero yo he conocido a gente no sólo buenísima, sino hasta inteligente, que se negó en redondo por décadas a admitir esa caracterización.

Es decir, las razones epistémicas pueden entrar y de hecho entran a menudo en conflicto con otras razones (de bienestar psicológico, de táctica o convicción política, etc.). Los descendientes de Calicles podrían tomar pie en eso para sostener:

Tesis-3 de Calicles: *O bien —en el plano de la racionaliad individual— no hay configuración cognitivo-causal posible alguna en la mente de un agente cognitivo que pueda conseguir que se impongan psicomáquicamente las razones epistémicas; o bien —en el plano de la racionalidad colectiva— no hay circunstancia social ni institucional factible que pueda ser causalmente responsable de que las razones epistémicas se impongan a, o prevalezcan sistemáticamente sobre, las razones no epistémicas.*

19. Con toda su posible funcionalidad para la integridad psicológica, parece obvio que el autoengaño —la burla de la racionalidad epistémica— es percibido universalmente como un mal. En el soneto 12, Garcilaso lo presenta como un mal particularmente vitando: «[...] guarecer de mal tan peligroso que es darme a entender yo lo que no creo».

Obsérvese que hay una distinción entre lo que puede ocurrir en el plano de la racionalidad individual y en el plano de la racionalidad colectiva. Lo que pueda ocurrir en el plano individual está configurado sobre todo por causas «cognitivas»; lo que pueda ocurrir en el plano colectivo se ajusta más bien a la horma de las causas «sociológicas». Empecemos con una breve discusión de la posibilidad de racionalidad epistémica en el plano individual. Hay dos tipos de cuestiones que merecen ser resaltadas por encima de las demás en la discusión de la racionalidad epistémica individual, una cuestión de motivación y una cuestión de capacidad cognitiva.

3.1. *Racionalidad (epistémica) individual: autotelismo, individualismo, holismo*

La primera se puede plantear en los términos más clásicos: es la discusión sobre si es posible el *bíos theoretikós*, lo que de un modo que ahora suena irremediablemente cursi suele llamarse vida contemplativa, a la que Aristóteles reputó como una vida entregada al escrutinio de las primeras causas, a la inquisición cognitiva *autotélica*, es decir, como fin en sí misma. Lo que está en discusión, pues, es si es psicológicamente viable el aprecio a la investigación por la investigación, por pura curiosidad (la cual, como es harto sabido, era para Aristóteles el comienzo de la ciencia y de la filosofía). O si es al revés: es decir, si sólo es psicológicamente viable la acción investigadora como acción instrumentalmente dirigida a otro fin, de naturaleza obviamente no epistémica. En una palabra: ¿puede ser la actividad epistémica una actividad realizada *amoris causa*, o sólo puede ser una actividad instrumental, servidora de otros fines, no epistémicos?

Ni que decir tiene que esta cuestión puede resolverse empíricamente (de hecho, la psicología del conocer la ha resuelto ya abrumadoramente en favor de la posibilidad del *bíos theoretikós*). Si se piensa un momento en la especialísima naturaleza del bien «información», se comprende enseguida que la racionalidad epistémica haya de tener un fuerte componente autotélico, no-instrumental. Pues la información es un bien al que por definición no puede aplicársele el cálculo coste/beneficio: no puedo valorar una información hasta que no disponga de ella. Es lógicamente imposible saber de antemano si el coste de llevar a cabo una acción tendente a conseguir esa información va a valer la pena, es decir, si quedará compensado por el beneficio que nos proporcionará la información[20]. Si quisiéramos diseñar seres

20. Éste es el sentido más profundo de la célebre conclusión aristotélica: «Así,

capaces de buscar información radicalmente nueva, tendríamos que programarlos de modo tal, que los métodos de adquisición de información estructural nueva compensaran por sí mismos, que el camino fuera meta, que los medios tuvieran el fin en sí mismos. Tendríamos que programarlos como seres de curiosidad difícilmente saciable[21], y especialmente motivados para tratar de saciarla[22].

Pero aquí estamos argumentando más bien al estilo socrático, es decir, tratando de mostrar que todas las variantes del «error» de Calicles son autorrefutatorias, o son dogmáticas —incapaces de dar cuenta de la sorprendente excepcionalidad de la propia posición—, o son, de alguna otra manera, autonulificatorias. Y la forma más derecha de hacerlo en este contexto es la siguiente: quien niega la posibilidad de inquisición cognitiva *amoris causa* y se libra al mismo tiempo a una discusión que entraña esfuerzo argumentativo por su parte, si no se contradice a sí mismo, *o bien está afirmando dogmáticamente que la única argumentación* amoris causa *que puede hacerse es en favor de que no hay nunca argumentación* amoris causa*; o bien está enseñando tontamente sus cartas marcadas y revelándonos que en realidad arguye a favor de alguna otra cosa, con algún otro fin inconfesado (y acaso inconfesable).*

Hay que notar que las afirmaciones centrales de los dos párrafos anteriores parecen incompatibles. Pues si se dice que el autotelismo puede corroborarse empíricamente, parecería que no puede decirse que la negación del autotelismo es autorrefutatoria (o aun autonu-

pues, si filosofaron por huir de la ignorancia, es obvio que perseguían el saber por afán de conocimiento, y no por utilidad alguna» (*Metafísica*, 982b, 20-23). La búsqueda de conocimiento radicalmente nuevo —la ciencia básica— es por definición radicalmente incierta. Es imposible que haya una representación subjetiva mínimamente solvente de las posibles consecuencias que traiga consigo el emprender una acción investigadora. De aquí que, contra lo que dice una larga pero indocumentada tradición epistemológica romántica, la investigación científica básica nunca esté bien servida por una racionalidad estrechamente instrumental, el imperio de la cual sería la condena a muerte de la cultura científica. De aquí que la búsqueda de conocimiento tenga el fin en sí misma.

21. El instrumentalismo del diseñador explicaría el autotelismo del diseñado, pero toda la astucia instrumental del diseño consiste precisamente en la genuinidad del autotelismo de lo diseñado. Para una especulación filosófica sobre el origen biológico-evolucionario de nuestro autotelismo en términos de un juego matemático de información asimétrica en el que las fuerzas selectivas naturales diseñadoras son el Principal, y la especie humana el Agente, cf. A. Domènech, «Racionalidad biológica, racionalidad económica y racionalidad epistémica», en M. Cruz (comp.), *Acción humana*, Ariel, Barcelona, 1996.

22. Recuérdese la famosa frase de Dirac al describir retrospectivamente el desarrollo de la mecánica cuántica en los años veinte: «Era un juego, un fascinante juego al que uno podía librarse». Citado en la sección «The Delights of Science» del libro de M. Csikszentmihalyi *The Psychology of Happiness*, Rider, London, 1992, pp. 134 ss.

lificatoria en un sentido más general), porque el autotelismo sería entonces la negación de esa inconsistentencia, y la negación de una inconsistencia es una verdad conceptual y, por lo mismo, carece de contenido empírico.

Sin embargo, lo cierto es que los partidarios del monismo instrumentalista motivacional a ultranza suelen proceder aquí de forma análoga a los partidarios del monismo egoísta motivacional a ultranza: rechazan cualquier careo empírico adverso por la vía de ensanchar *ad hoc* el concepto de instrumentalismo —o el de egoísmo—, hasta tornarlo empíricamente vacío y no informativo. «Si Francisco de Asís, o Gandhi, o el Che Guevara, actuaron como actuaron, sólo porque eso es lo que maximizaba alguna extraña función de utilidad egoísta», vienen a decir; «si Einstein o Marx o Darwin dedicaron integérrimamente buena parte de sus vidas al estudio, sólo porque eso debía promover instrumentalmente algunos otros afanes más o menos insólitos», insisten. Y a ese nuevo tipo de argumentos (una vez más: «nunca dices dos veces lo mismo, Calicles») no puede replicarse *empíricamente*: al partidario del panegoísmo, lo mismo que al partidario del paninstrumentalismo, sólo puede mostrársele *conceptualmente*, o bien que su concepción del «egoísmo» —o del «instrumentalismo»— es vacía empíricamente (no se podría refutar nunca), o bien —y de eso se trata aquí—, si se empeña en presentarla como una verdad más o menos conceptual, que su posición es autonulificatoria: del discurso de «aquellos que discursean por discursear» ya dijo Aristóteles que sólo es refutable «tomándolo en su expresión y en sus palabras» (*Met.* 1009a, 20-23).

Dicho sea de paso: la teoría económica de la racionalidad, que presupone tanto el egoísmo como el instrumentalismo de los agentes económicos no los construye conceptualmente nunca de la chapucera forma en que suelen hacerlo tantos filósofos pretendidamente inspirados en ella. El egoísmo es precisamente definido como independencia matemática de las utilidades de los diversos agentes (A es egoísta respecto de B, si y sólo si su utilidad no crece ni decrece matemáticamente con la de B; es altruista, si y sólo si crece con la de B; y es envidioso, si y sólo si decrece con la de B). Y el instrumentalismo de los agentes es precisamente definido haciendo que las preferencias del agente sobre los resultados causalmente conectados con sus acciones (de acuerdo con sus creencias subjetivas) determinen matemáticamente en exclusiva sus preferencias sobre los distintos cursos de acción a seguir: el agente instrumental no puede tener preferencias sobre sus propias acciones que sean independientes de sus preferencias sobre los resultados esperados de esas acciones. La teoría económica no nie-

ga que haya mundos posibles en los que los agentes maximicen funciones de utilidad altruistas (o envidiosas); propiamente, niega sólo —y por eso, falsa o verdadera, tiene *prima facie* contenido empírico— que en el mundo actual de los mercados haya agentes que maximicen ese tipo de funciones de utilidad. La teoría económica no niega que haya mundos posibles en los que los agentes tengan preferencias sobre sus acciones que sean independientes del impacto esperado de esas acciones en el mundo; niega sólo —y por eso, falsa o verdadera, tiene *prima facie* contenido empírico— que en el mundo actual de los mercados haya agentes que se comporten así. La teoría económica de la racionalidad, pues, a diferencia de sus vulgarizaciones filosóficas más corrientes, no es ni panegoísta, ni paninstrumentalista.

Venimos ahora a la segunda cuestión de interés aquí para la racionalidad epistémica individual. Ella tiene que ver con la existencia de una intencionalidad de segundo orden: con la capacidad para reflexionar sobre nuestros estados intencionales de primer orden, y revisarlos, y modificarlos. Partimos del supuesto de que quien sostiene la Tesis-3 de Calicles acepta de entrada la existencia de esa capacidad. Parecería, pues, que podemos pasar en principio por alto esta cuestión de racionalidad individual, y entrar ya en la discusión de la Tesis-3 de Calicles por el lado de la racionalidad colectiva. No se puede correr tanto, sin embargo. Antes es necesario poner de relieve que la afirmación según la cual los individuos tienen capacidades intencionales de segundo orden tiene algunas implicaciones, no siempre evidentes, que es conveniente tener en cuenta antes de entrar en la discusión de la racionalidad colectiva. Que A tenga capacidades intencionales de segundo orden, que A pueda revisar intencionalmente sus creencias y sus preferencias, sus creencias sobre sus preferencias, sus preferencias sobre sus preferencias, sus preferencias sobre sus creencias o sus creencias sobre sus preferencias, presupone conceptualmente que su psicología es constitutivamente social. Es la vieja tesis de Aristóteles en la *Política* (1253a, 11-20):

> La razón por la que el hombre es, más que la abeja o cualquier otro animal gregario, un animal social es evidente: [...] el hombre es el único animal que habla con proposiciones [*logoi*][23] . La voz es signo de

23. La traducción corriente de *logoi* por «palabra» («el único animal que tiene palabra») es confundente aquí, porque es claro que Aristóteles se refiere a proposiciones con contenido intencional de segundo orden. Cf. E. Tugendhat, *Selbstbewusstsein und Selbstbestimmung*, Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1979, p. 178: «El hombre es tal, como dice Aristóteles, sólo porque habla con proposiciones (*logoi*) conscientemente relacionadas con su ser y con lo que es bueno para éste».

> dolor y de placer, y por eso la tienen también los demás animales [...]; pero las proposiciones son para manifestar lo conveniente y lo dañino, lo justo y lo injusto, y es exclusivo del hombre, frente a los demás animales, el tener, él sólo, el sentido del bien y del mal, de lo justo y lo injusto, etc., y la comunidad de estas cosas es lo que constituye la casa y la ciudad. La ciudad es por naturaleza anterior a la casa y a cada uno de nosotros [...]

Si A y B sólo tuvieran intencionalidad de primer orden, si no fueran capaces siquiera de tener estados intencionales sobre sus estados intencionales y, *a fortiori*, de revisar los primeros a la luz de los segundos, sus respectivas intencionalidades se agregarían de manera puramente *causal*, es decir, las intenciones de A tendrían, a través de las acciones de A, impacto causal en los estados intencionales de B, y viceversa. Pero si A y B tienen capacidad para la intencionalidad de segundo orden, entonces sus respectivos estados intencionales estarán, además, vinculados y se agregarán *constitutivamente*: la capacidad para la intencionalidad de segundo orden está en una relación conceptual de sobreveniencia respecto de las relaciones sociales[24].

Si aceptamos que las intenciones de los individuos no quedan completamente borradas a efectos explicativos por las causas sociológicas o cognitivas de las mismas, si por ejemplo, contra el peor Durkheim —y con el mejor Marx—, aceptamos que la acción intencional de los individuos, como factor explicativo, no queda anulada por los «hechos sociales» estructurales, entonces estamos con el individualismo y contra el colectivismo (metodológicos). Pero si, en una larga tradición científico-social, que va de Aristóteles a Marx (y al mejor Weber), aceptamos la intencionalidad de segundo orden de los individuos, entonces tenemos que comprometernos metodológicamente con una visión holista que hace de los individuos agentes constitutivamente sociales, y de sus estados intencionales de segundo orden, estados que sobrevienen al mundo de las relaciones sociales: y entonces, metodológicamente hablando, somos indvidualistas anticolectivistas, pero, además, holistas antiatomistas[25].

24. Un ejemplo ilustrará la diferencia entre las conexiones causales y las conexiones (constitutivas) de sobreveniencia: «Los anticuerpos de A le hacen inmune a la gripe». Eso no quiere decir que los anticuerpos de A «causen» su inmunidad, sino que su inmunidad a la gripe depende constitutivamente de sus anticuerpos, y está en relación de sobrevieniencia con ellos. Cf. J. Kim, «Non-causal Connections»: *Nous*, 8 (1974), pp. 41-52.

25. Para una interesante defensa filosófica del individualismo holista contra el individualismo atomista y contra el colectivismo metodológicos (así como una iluminadora crítica de la habitual identificación individualismo = atomismo), cf. Ph. Petitt, *The*

Un modo de ilustrar este punto para el lector interesado no sólo en la filosofía de la psicología, sino también, y de un modo especial, en la filosofía de las ciencias sociales, es el siguiente:

Si hay una teoría en las ciencias sociales de nuestros días que sea candidata número uno —y, además, candidata calificadísima— a representar un individualismo metodológico puramente atomista (antiholista) es la teoría económica neoclásica de los mercados perfectamente competitivos. Uno de los teoremas fundamentales de esa teoría asegura que toda colección de individuos instrumentalmente racionales que maximicen funciones de utilidad matemáticamente independientes unas de otras (egoístas), si actúan en un ambiente propicio (libertad jurídica para intercambiar bienes y servicios, derechos de propiedad bien definidos, leyes que defiendan esos derechos y que castiguen el fraude, etc.), conseguirá colocar a la economía «en su núcleo», es decir, la llevará a una frontera paretiana de eficiencia en la que todos los precios serán de equilibrio competitivo y los mercados serán transparentes. Si prescindimos de la fácil, y en cierto modo superficial, objeción de que el comportamiento de los agentes económicos en el mercado competitivo presupone ya un entorno jurídico-político (público) que crea y garantiza el espacio social en que se desenvuelve ese comportamiento racional-instrumental maximizador, podremos tal vez percatarnos de algo filosóficamente más profundo.

Supongamos que A es un agente económico racional en el sentido de la teoría económica neoclásica. Supongamos que A va a comprarse unos zapatos. Entra en la primera zapatería que encuentra, y después de curiosear un rato, decide que lo que maximiza su función de utilidad (dados sus recursos) son los zapatos Z, que tienen el precio P1. Pero antes de decidirse a comprarlos a ese precio, como buen maximizador, tiene que hacerse la siguiente reflexión: ¿quién me dice que no encontraré Z, o algo mejor todavía, a un precio más barato en otra zapatería? Va a una segunda zapatería (invirtiendo un esfuerzo en ello) y, en efecto, encuentra Z a un precio, P2, inferior a P1. Pero se impone el mismo razonamiento maximizador: ¿quién quita que en una tercera zapatería no encuentre Z a un precio P3 todavía más

Common Mind, Oxford University Press, Oxford, 1993. Para una interesante —y arriesgada— exploración del significado empírico de que la arquitectura cognitiva de nuestras mentes sea constitutivamente social, cf. A. Fiske, *Structures of Social Life. The Four Elementary Forms of Human Relations*, Free Press, New York, 1992. Para una interpretación de la ética aristotélica, y en general de las éticas de estirpe socrática en términos individualistas-holistas de una «tangente ática» que trata como isomórficas las relaciones del individuo con sus yos futuros y las relaciones de ese mismo individuo con los demás, cf. A. Domènech, *De la ética a la política*, Crítica, Barcelona, 1989, cap. II.

ventajoso? Ir a la tercera zapatería tiene un coste, evidentemente. ¿Es racional incurrir en ese coste, a falta de información sobre P3, información que sólo puede obtenerse incurriendo en algún coste (no necesariamente el de ir a esa zapatería)? No se puede saber si es racional o no incurrir en ese coste, porque, como ya hubo ocasión de ver, no puede aplicarse nunca el análisis coste/beneficio al bien información. Además —ya lo habréis adivinado—, la serie no se acaba nunca: en la tercera zapatería se repetiría el mismo dilema, y en la cuarta, y en la quinta, etcétera.

Sin embargo, un agente económico que actuara en un mercado perfectamente competitivo no se enfrentaría a esos problemas. Pues un mercado perfectamente competitivo es completamente «transparente», y en él, todos los precios son precios de equilibrio competitivo, toda la información que necesita el agente racional está contenida en esos precios. Lo que aquí se quiere decir es lo siguiente: nuestro consumidor de zapatos, si actuara en un mercado de ese tipo, podría estar totalmente seguro de que P1 —el precio de Z en la primera zapatería— es un precio de equilibrio, y por lo tanto, el mismo con el que se va a encontrar en todas las zapaterías que pueda visitar.

El agente económico que actuara en un mercado idealmente competitivo no necesitaría nunca buscar información nueva (no precisaría revisar sus creencias), porque actuaría en un mundo en el que tendría ya absolutamente toda la información que necesitara. (De aquí el supuesto de la teoría de acuerdo con la cual los agentes económicos son omniscientes.) Pero incluso en este aparente caso extremo de atomismo individualista (en el que los agentes ni siquiera tendrían necesidad de interacción estratégica entre ellos)[26], se cumple la tesis de Aristóteles de que la vida social es «anterior» al individuo: pues el agente económico puede ser un maximizador racional sólo porque vive en el contexto social o institucional de un mercado perfectamente competitivo. Hipotéticos individuos maximizadores de utilidad esperada no podrían construir nunca un mercado perfectamente competitivo por el

26. Un mercado perfectamente competitivo es completamente anónimo, y en él nadie tiene poder para imponer precios a los demás (todos son *price takers*, «receptores de precios»): basta la racionalidad paramétrica (que toma a los demás, no como agentes intencionales, sino como parámetros tan inertes como los datos climatológicos, y puede hacerlo porque los demás están también sometidos a las mismas fuerzas anónimas del mercado). La teoría matemática de los juegos de estrategia (que incorpora la racionalidad estratégica) se inventó precisamente para que la teoría económica pudiera empezar a decir algo relevante empíricamente sobre los mercados reales, que no son perfectamente competitivos, sino ferozmente oligopólicos, y en los que hay agentes con capacidad para dictar estratégicamente precios a los demás, sacando grandes ventajas de ello.

sencillo motivo de que no podrían maximizar nada: necesitarían, por lo pronto, revisar sus creencias —buscar información nueva—, y no tendrían en qué ni en quién apoyarse (pues la racionalidad instrumental maximizadora es impotente para subvenir a la necesidad de ulterior información). Ocurre al revés: es la hipótesis conceptual de la existencia de un mercado perfectamente competitivo ideal la que permite concebir con coherencia la idea de un agente (omnisciente) que maximiza sin mayores problemas funciones de utilidad esperada, matemáticamente independientes de las funciones de utilidad de otros individuos. De aquí que la noción misma de racionalidad instrumental maximizadora, contra toda apariencia, ni siquiera sea una noción clara y distinta fuera del contexto de mercados perfectamente competitivos (o de otros contextos en los que pueda presuponerse la omnisciencia de los agentes maximizadores)[27].

De modo que, a partir de ahora, vamos a suponer que la Tesis-3 de Calicles no hace mella en la racionalidad (epistémica) individual, y además, que sus propugnadores aceptan la existencia de unas capacidades para la intencionalidad de segundo orden con todas sus consecuencias y, en particular, con su implicación individualista-antiatomista.

3.2. *Racionalidad (epistémica) pública*

Pero la Tesis-3 de Calicles era una disyunción, como se recordará. La segunda parte de esa disyunción afecta a la racionalidad epistémica colectiva. Podría perfectamente ser que, aun abierta la posibilidad de la racionalidad epistémica individual, no hubiera forma alguna de agregar racionalidades epistémicas individuales para conseguir la racionalidad epistémica colectiva.

El famoso teorema de imposibilidad de Kenneth Arrow es una demostración matemática de que, dadas al menos tres opciones distintas, no existe ninguna regla de decisión que permita agregar las funciones de utilidad de individuos racionales para conseguir una decisión colectiva que permita elegir entre las (al menos tres) opciones distintas de un modo que satisfaga simultáneamente seis condiciones mínimas y *prima facie* plausibles de racionalidad colectiva[28]. Este argumento a favor de la Tesis-3 de Calicles, pues, debería tener el formato de un teorema de imposibilidad de este tipo para la racionalidad epistémica

27. Cf. A. Domènech, «Algunos enigmas de la racionalidad económica», en Chomsky *et al.*, *Los límites de la globalización*, Ariel, Barcelona, 2000.

28. K. Arrow, *Social Choice and Individual Values*, Wiley, New York, 1951.

pública, un teorema que mostrara que ninguna agregación social posible de racionalidades epistémicas individuales puede satisfacer criterios mínimos de racionalidad epistémica colectiva.

Podría parecer que ese hipotético teorema de imposibilidad de la racionalidad epistémica colectiva, de tener éxito, da lugar a una paradoja. Pues si la demostración matemática del mismo nos resultara convincente, el hecho mismo de que *nos* resultara convincente querría decir que es públicamente convincente y, por lo mismo, parecería sugerir también lo contrario, a saber, que la racionalidad epistémica pública es posible. Pero ocurre que el teorema de imposibilidad de Arrow es un teorema formal que vale cualquiera que sea el contenido de las funciones de utilidad de los individuos. Por lo tanto, debería valer también, en particular, para las funciones de utilidad *epistémicas*. Eso quiere decir que podría haber una interpretación perfectamente legítima de la imposibilidad arroviana como imposibilidad de la racionalidad epistémica colectiva. Quien, sostenido en la demostración de ese teorema —en la extensión del mismo a la agregación de utilidades epistémicas—, mostrara la imposibilidad de la racionalidad colectiva, podría escapar de la manera más galana del dilema socrático: ni se autorrefutaría (pues construiría su propia posición como una insólita excepción a la regla); ni sería dogmático (pues comparecería ante el tribunal de la razón pública nada menos que con la justificación matemática de la excepcionalidad de su propia posición); ni, más en general, se autonulificaría en ningún otro sentido evidente (puesto que estaría dispuesto a admitir la posibilidad y aun la deseabilidad de la racionalidad epistémica individual).

Creo que es instructivo ver, con las modestas dosis de precisión y exactitud que permite un breve estudio como éste, por qué el teorema de Arrow de imposibilidad de la racionalidad colectiva no puede aplicarse a la racionalidad epistémica. O dicho de otra manera, por qué no es imposible en ciencia —y en otros contextos culturales— el milagro del uso público de la razón. (Se me permitirá decir que, entre los varios intentos que conozco de defender la Tesis-3 de Calicles, nunca he visto a nadie servirse del teorema de Arrow. Lo que no resulta demasiado sorprendente, habida cuenta de que la ciencia social de los filósofos y los sociólogos externalistas al uso es una ciencia social poco refinada. El ejercicio que propongo ahora es entrar a por uvas, ver qué pasa si lo hacemos en serio, con una ciencia social que supuestamente juega en primera división.)

Haré una reconstrucción esquemática de las seis condiciones con que Arrow define la racionalidad colectiva, añadiéndole una séptima que nunca se hace explícita porque parece obvia en la noción econó-

mica de racionalidad. Recuérdese que esas siete condiciones mínimas deben resultar plausibles. Así que habrá que discutir también su particular significado en el particular contexto de la racionalidad epistémica colectiva y su particular plausibilidad como condiciones impuestas a la racionalidad particularmente *epistémica*.

Son éstas:

1) No-dictadura.
2) Optimalidad paretiana.
3) Irrelevancia de las alternativas independientes.
4) Dominio universal.
5) Preferencias ordinales, no cardinales.
6) Inmutabilidad de las preferencias.
7) Racionalidad individual consecuencialista.

1) La primera condición es obvia, también en contextos epistémicos: nadie debe tener poder para imponer a los demás sus preferencias (epistémicas), haciéndolas valer por las preferencias colectivas.

2) La segunda condición es la de eficiencia económica: en una situación social Pareto-óptima no es posible que haya otra situación alternativa factible que sea unánimemente preferida por todos. También ésta parece una condición aceptable para la racionalidad epistémica colectiva: no podría considerarse racional que *todos* los miembros de una comunidad científica prefirieran *unánimemente* alguna teoría distinta de la oficialmente aceptada por la comunidad.

3) La tercera condición —la irrelevancia de las alternativas independientes— es interesantemente controvertida, también cuando se habla de racionalidad en general. Es una condición que prohíbe que los agentes voten estratégicamente (el famoso «voto útil»). Si el conjunto de oportunidades del agente *i* es {A,B} —en el caso de la racionalidad epistémica, por ejemplo, la teoría A y la teoría B—, y en ese conjunto, el agente *i* prefiere la teoría o la hipótesis A, no se permite que, tras ampliar el conjunto de oportunidades de *i*, añadiéndole la opción de una tercera teoría o hipótesis, C, completamente independiente de A y de B, el agente *i* invierta su anterior elección, y elija B en el conjunto ampliado {A,B,C}. Eso podría ocurrir, por ejemplo, si para el agente *i*: A>B y B>C. Puesto ante la evidencia de que su propia opción preferida —A— es minoritaria en la comunidad científica, y ante el riesgo de que, al aparecer una nueva teoría, C, aún más alejada de A que B, la nueva C atrajera el consenso mayoritario de la comunidad científica, *i* «vota estratégicamente» por B (en vez de, genuinamente, por A), con objeto de cerrar el paso a la aceptación de C por la comunidad. Se considera, pues, que, para que haya ra-

cionalidad colectiva, el agente *i* debe considerar irrelevante la aparición de C. Esta condición prohibiría, por ejemplo, la negociación entre científicos sobre la verdad de sus teorías. Vamos a dar por buena provisionalmente esta tercera condición de racionalidad colectiva, que prohibiría la votación estratégica en asuntos epistémicos. Más adelante habrá ocasión de volver sobre ella.

4) La cuarta condición —dominio universal, o no-restringido— dice que, a la hora de construir una función agregada de utilidad colectiva, no puede restringirse el dominio de las funciones de utilidad individuales que van a ser objeto de agregación. Es una condición, digamos, de liberalismo: las preferencias individuales extravagantes y aun inmorales cuentan tanto como las preferencias individuales normales y bienpensantes. Ésta es una condición muy controvertida. En principio, debería parecer aceptable cuando se aplica a la racionalidad epistémica colectiva, porque parece una defensa de la libertad de pensamiento y de expresión, la cual, como todos sabemos, es esencial en ciencia, no menos que en política. Sin embargo, la condición de dominio no restringido va mucho más allá de esto, y hay que ver claras algunas de sus consecuencias no evidentes. La más interesante, y la más pertinente, en la discusión de cuestiones de racionalidad epistémica es ésta: aceptar esa condición sería tanto como suponer que los agentes cognitivos individuales son *all-purpose computers*, capaces de albergar cualquier creencia (cualquier preferencia epistémica) arbitraria. Este supuesto es perfectamente compatible con una epistemología metodológicamente conductista: si el dominio de las preferencias epistémicas humanas no está restringido dominio-específicamente, entonces el viejo problema quineano de la subdeterminación de las teorías por los hechos (nunca una teoría queda completamente determinada por los hechos, y siempre hay varias posibles teorías compatibles con el mismo conjunto de hechos) complica mucho el problema de la racionalidad de la toma de decisiones epistémicas colectivas. En cambio, si ese dominio está restringido dominio-específicamente, como suele suponer la epistemología de impronta metodológicamente cognitivista[29], la subdeterminación quineana, más que un problema irre-

29. Para una epistemología así orientada, cf., por ejemplo, H. Kornblith, *Inductive Inference and Its Natural Ground. An Essay in Naturalistic Epistemology*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1993. Para la discusión sobre el carácter dominio-universal o dominio-específico de la arquitectura cognitiva humana, se pueden leer con provecho los siguientes textos: J. Barkow, L. Cosmides y J. Tooby (comps.), *The Adapted Mind*, Oxford University Press, Oxford, 1992; L. A. Hirschfeld y S. A. Gelman, *Mapping the Mind. Domain Specificity in Cognition and Culture*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1994; J. Fodor, *The Mind Doesn't that Way*, MIT Press, Cambridge, Mass., 2000.

soluble para la epistemología normativa, sería sólo una filosóficamente interesante consecuencia natural de las limitaciones de un *intellectus ectypi* como el nuestro, que, a la vez constreñido y guiado por sus propias restricciones cognitivas, se ve obligado a hacer conjeturas teóricas con gran poder de abstracción y simplificación. Un *intellectus archetypi* no necesitaría ciencia teórica, pero una teoría que merezca mínimamente la pena será siempre mucho más poderosa y tendrá mucho más alcance que todos los hechos conocidos o directamente cognoscibles por un *intellectus ectypi*[30]. En resolución, pues, una epistemología no comprometida con el conductismo metodológico no tiene por qué aceptar esta condición de dominio no-restringido de las preferencias epistémicas.

5) La quinta condición —ordinalidad— dice que sólo pueden tenerse en cuenta las preferencias ordinales de los individuos. Quedaría excluida, pues, de acuerdo con esta condición, la cardinalidad, es decir, toda información sobre la intensidad de las preferencias de los agentes. Aunque esta condición puede defenderse en la agregación de preferencias políticas (para evitar un excesivo peso en la función colectiva agregada de utilidad de las preferencias de los individuos fanáticos o extremistas de cualquier tendencia —incluido, pues, el peligroso, y a menudo inadvertido, extremismo del «centro»—), no está nada clara su validez en el ámbito epistémico: pues es evidente que alguna medida (cardinal) del grado de contrastación o de evidencia empírica en favor de las distintas hipótesis parece que debería poder ser computado a la hora de agregar utilidades epistémicas.

6) La sexta condición, que prohíbe que a lo largo del proceso de toma de decisión colectiva los individuos puedan modificar sus preferencias, es crucial. Si la aceptáramos en contextos epistémicos, querría decir que no es posible la deliberación pública en el mundo de la investigación científica. En todo el proceso de agregación de preferencias epistémicas, las preferencias de los individuos permanecerían inalteradas. Sería ocioso que unos agentes trataran de convencer a otros para que cambiaran de preferencias: éstas estarían «congeladas» por la condición sexta de racionalidad colectiva. Por eso esta condición arroviana es inaceptable como condición de racionalidad epistémica. Dicho sea de paso, a muchos nos parece también inaceptable como condición de racionalidad política colectiva. Responde a un concepto liberal-pluralista de la vida democrática, de acuerdo con el

30. Una interesante argumentación en sentido parecido, en R. Nozick, *Invariances. The Structure of the Objective World*, Harvard University Press, Cambrige, Mass., 2001, pp. 112 ss.

cual la política se reduciría, cuando mucho, a negociar resultados Pareto-óptimos a partir de preferencias irreductibles de los individuos. En cambio, la concepción republicana de la democracia entiende que en el núcleo de la vida política ha de haber también algún espacio para una deliberación pública en el *ágora* que tenga por objeto modificar las preferencias políticas de las partes deliberantes[31]. Una racionalidad (epistémica) *colectiva* que aceptara esa condición conservaría desde luego el predicado de «colectiva» —en el sentido de agregación atómica de psicologías intencionales—, pero, al no dejar el mínimo resquicio para la deliberación, perdería en el acto el predicado de *publicidad*: no agregaría holistamente intencionalidades de segundo orden, y *a fortiori* no sería racionalidad *pública* predicable de ninguna comunidad de juicio normativa, es decir, de ninguna asociación de psicologías intencionales de segundo orden que se reconocieran mutuamente como tales:

> Este principio de publicidad no ha de considerarse meramente ético [...], sino también jurídico [...]. Pues una máxima que yo no pueda expresar en voz alta, sin socavar al propio tiempo mi propia intención; que ha de ser completamente recatada para que pueda prosperar; y a la que no puedo reconocer públicamente como mía, sin provocar ineluctablemente la resistencia de todos contra mi propuesta, no puede obtener de todos los demás la necesaria y universal [...] contraelaboración frente a la mía, si no es derivándola de la injusticia con que a cada uno amenaza[32].

Obsérvese, sin embargo, que una posibilidad obvia sería aceptar la condición 6 (congelar las preferencias epistémicas de los agentes cognitivos, hacerlas irreductibles, impermeables a la deliberación pública), pero, en cambio, revisar la condición 3, que prohibía la votación estratégica, así como la condición 5, que prohibía la expresión cardinal de las preferencias. En ese caso tendríamos, sólo que formulada ahora de un modo preciso, la famosa tesis de que la verdad se negocia. Los agentes cognitivos, dotados de preferencias epistémicas congeladas e irreductibles (y, por lo mismo, recatables), buscarían por la pura vía de la negociación establecer una «verdad» que fuera aceptable para todos.

31. Una exposición sistemática de las implicaciones del teorema de imposibilidad arroviana para la ciencia social normativa, y en particular para la filosofía política, en A. Domènech, «Ética y economía de bienestar: una panorámica», en O. Guariglia (ed.), *Ética aplicada*, vol. 12 de la *Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, Trotta, Madrid, 1996, pp. 191-222.

32. I. Kant, *Zum ewigen Frieden*, en *Kants Werke*, Akademie Textausgabe, vol. VIII, Berlin, p. 381.

La teoría *estándar* de la negociación (la teoría de Nash) predice que dadas unas dotaciones de base de los individuos A y B, y dadas unas funciones de utilidad para cada uno, la negociación que emprendan se cerrará con un resultado que maximizará el producto de las utilidades de A y de B. Claro es que sostener calicleanamente que *todas* las verdades se negocian abriría el flanco a una devastadora objeción socrática: «¿Acaso, Calicles, es la teoría de la negociación de Nash la única verdad innegociable?». En cambio, hay que admitir la posibilidad de que se den —y con harta frecuencia— situaciones reales en las que, efectivamente, se produzca negociación epistémica dentro de la comunidad científica. Por ejemplo: la referencia de los términos teóricos de la ciencia ni de lejos está siempre bien determinada; entonces, la refutación de una teoría ¿implica la inexistencia de las referencias de sus términos teóricos subdeterminados? Si Lavoisier hubiera tenido un temperamento más conservador, ¿llamaríamos hoy «flogisto» al oxígeno? O ¿no es resultado de una negociación epistémica el que sigamos hoy llamando «genes» a los genes, después de la revolución de la biología molecular?[33].

El admitir la negociación epistémica, sin embargo, no implica prohibir la deliberación: implica admitir realistamente tan sólo que, en ciencia como en política, hay muchas ocasiones en que la deliberación llega a un *impasse* y deja paso a una negociación. Una negociación públicamente legitimada como tal, sin embargo. Pues una cosa es que A y B partan ya de entrada de preferencias irreductibles —y recatables— y negocien *inter intriganti*; y otra muy distinta es que como resultado de un proceso de deliberación público se llegue a la conclusión de que determinadas preferencias de A y de B no admiten ulterior troquelamiento mutuo (o de que en determinados ámbitos de la vida social el mutuo troquelamiento deliberativo de las preferencias de los agentes no es deseable o no es razonable, por motivos de *interés público* —sujeto a deliberación—), y se abran grandes, y aun grandísimos, espacios institucionales a la negociación a partir de esas preferencias.

De modo, pues, que la condición sexta no puede aceptarse tampoco como condición de racionalidad epistémica, porque cerraría todo espacio a la deliberación epistémica pública.

7) Y ahora llegamos a la tácita, pero decisiva, condición séptima. Esta condición subyace a toda la teoría estándar de la racionalidad, la llamada «teoría causal de la decisión», y es definitoria de la racionali-

33. Para este tipo de problemas, cf. S. P. Stich, *Deconstructing the Mind*, Oxford University Press, Oxford, 1996, esp. pp. 71 ss.

dad económica. Podemos formular esa condición así: el agente *i* es racional si y sólo si, dado un conjunto de creencias (que incluyen una representación subjetiva de la conexión causal entre sus posibles acciones y las consecuencias de esas acciones), dado un conjunto de preferencias expresable en una función de utilidad y dado un conjunto de acciones disponibles, elige del conjunto de acciones disponibles aquella acción que maximiza la utilidad esperada. Es decir, de acuerdo con esta condición, los motivos que pudiera tener un agente racional para elegir una acción quedarían exhaustivamente determinados por las consecuencias causales (subjetivamente representadas) de esa acción. Si elijo el curso de acción A sólo por las consecuencias que espero de esa acción. Esta condición no es sino el resultado de que la teoría económica de la racionalidad es instrumentalista (aunque no, como se ha visto, paninstrumentalista). Y eso le cierra el acceso a las acciones *autotélicas*, a las acciones que se valoran por sí mismas, independientemente de sus consecuencias esperadas.

Sin embargo, hemos presentado el autotelismo —al menos, en alguna medida— como condición necesaria de racionalidad epistémica individual. Hemos visto que para pretender extender la imposibilidad arroviana a la racionalidad colectiva epistémica sin caer ya de entrada en la autorrefutación, el dogmatismo, o en general en la autonulificación (la autorrefutación y el dogmatismo pueden entenderse como formas particularmente distinguidas de autonulificación)[34], es preciso aceptar cierto autotelismo de la racionalidad epistémica individual, conceder que podemos ser capaces de participar en el torneo cognitivo, si no completamente *gratis et amore*, sí al menos *amoris*

34. Así, como imputación de autonulificación, puede entenderse la recusación socrática del posible dogmatismo de Calicles en el *Gorgias*: el dogmático se excluye a sí mismo de toda comunidad de juicio normativo, se hace nulo, no hay forma de seguir discutiendo con él. Autonulificarse es, más en general, excluirse uno mismo de toda comunidad de juicio normativo (compuesta por individuos con intencionalidad de segundo orden que se reconocen mutuamente como tales), es negarse a usar las propias capacidades intencionales de segundo orden para revisar los estados intencionales de primer orden. Y así puede entenderse también la defensa que hace Aristóteles en la *Metafísica* del principio de contradicción: éste no puede en rigor demostrarse (1006a, 7-12), y quien no lo acepta no se contradice a sí mismo (no aceptarlo no es, pues, autorrefutatorio), pero se convierte en una especie de jugador de ventaja que pretende mover pieza y, en el acto, echarse atrás de ese movimiento (1008a, 32-34); quien no acepta el principio de contradicción se hace nulo a sí mismo como jugador, no hay forma de seguir discutiendo con él (1008a, 30-31), porque se autoexcluye del juego colectivo de la comunidad de juicio normativo, y a punto tal, que Aristóteles no se limita aquí, como en otras ocasiones, a comparar con un esclavo, por ejemplo, a quien es incapaz de pensamiento *amoris causa* (*Met.*, 982b, 25-32), sino que lo reduce a «vegetal» (1006a, 15).

causa[35]. De modo que la condición 7 no es aceptable tampoco como condición de racionalidad (epistémica) colectiva, porque significaría violar una condición previamente aceptada de racionalidad epistémica individual.

Así pues, en resolución, la Tesis-3 de Calicles, que sucumbió a argumentos de estirpe socrática en su disyunto referido a la racionalidad epistémica individual, falla también en la que posiblemente sea su mejor y más refinada presentación como recusación de la racionalidad epistémica colectiva: la imposibilidad arroviana queda sin tangencia posible con la órbita de la racionalidad epistémica colectiva, y los descendientes filosóficos de Calicles siguen atrapados en los viejos dilemas nulificantes del Gorgias.

BIBLIOGRAFÍA

Aristóteles, *Metafísica* (siguiendo la trad. de T. Calvo Martínez, Gredos, Madrid, 2000).
Aristóteles, *Política* (por la ed. bilingüe del Centro de Estudios Constitucionales, Madrid, 1951).
Arrow, K. (1951), *Social Choice and Individual Values*, Wiley, New York.
Barkow, J. H., Cosmides, L. y Tooby, J. (eds.) (1992), *The Adapted Mind. Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford University Press, Oxford.
Berger, P. L. y Luckman, T. (1969), *The Social Construction of Reality*, Penguin, London.
Boyer, P. (1994), *The Naturalness of Religious Ideas*, UCLA Press, Los Angeles.
Csikszentmihalyi, M. (1992), *The Psychology of Happiness*, Rider, London, 1992.
Domènech, A. (1989), *De la ética a la política*, Crítica, Barcelona.
Domènech, A. (1996), «Ética y economía de bienestar: una panorámica», en O. Guariglia (ed.), *Cuestiones morales*, vol. 12 de la *Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía*, Trotta, Madrid, 191-222.
Domènech, A. (1997), «Racionalidad biológica, racionalidad económica y racionalidad epistémica», en M. Cruz (comp.), *Acción humana*, Ariel, Barcelona.

35. Lo que Manuel Sacristán llamaba «oligokuhnismo» ignora, tal vez deliberadamente, varios pasos del *best seller* de Kuhn sobre la *Estructura de las revoluciones científicas* que una motivación básica, no ya del científico revolucionario, sino hasta del científico normal es el amor a resolver enigmas: «La fascinación ejercida por el paradigma de investigación normal [...] consiste en que, a pesar de que su resultado resulta anticipable [...], el modo de llegar a él es todavía muy incierto [...] Quien tiene éxito en el empeño pone a prueba ante sí mismo su pericia como experto en resolver rompecabezas, y el reto del rompecabezas es parte importante de su motivación».

Domènech, A. (2000), «Algunos enigmas de la racionalidad económica», en N. Chomsky *et al.*, *Los límites de la globalización*, Ariel, Barcelona.
Domènech, A. (2004), *El eclipse de la fraternidad*, Crítica, Barcelona.
Fodor, J. (2000), *The Mind Doesn't Work that Way*, MIT Press, Cambridge, Mass.
Fiske, A. (1992), *Structures of Social Life. The Four Elementary Forms of Human Relations*, Free Press, New York.
Frege, G. (1997), «Logic», en M. Beaney (ed.), *The Frege Reader*, Blackwell, Oxford.
Hirschfeld, L. A. y Gelman, S. A. (1994), *Mapping the Mind. Domain Specificity in Cognition and Culture*, Cambridge University Press, Cambridge.
Kant, I. (1972), *Briefwechsel*, Felix Meiner, Hamburg.
Kant, I. (1968), *Zum ewigen Frieden*, en *Kants Werke*, Akademie Textausgabe, vol. VIII, Berlin.
Kim, J. (1974), «Non-causal Connections»: *Nous* 8, 41-52.
Kornblith, H. (1993), *Inductive Inference and Its Natural Ground. An Essay in Naturalistic Epistemology*, MIT Press, Cambridge, Mass.
Kuhn, T. (1971), *La estructura de las revoluciones científicas*, trad. de A. Contín, FCE, México.
Latour, B. y Woolgar, S. (1979), *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*, Sage, London.
Lewis, D. (1986), *Philosophical Papers*, vol. 2, Oxford University Press, Oxford.
Moulines, U. (1993), «La incoherencia dialógica del relativismo sociológico»: *Praxis filosófica* 4, 21-38.
Nozick, R. (2001), *Invariances. The Structure of the Objective World*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
Petitt, Ph. (1993), *The Common Mind*, Oxford University Press, Oxford.
Platón, *Gorgias* (por la ed. bilingüe de Les Belles Lettres, Paris, 1949).
Russell, B. (1976), *The Impact of Science in Society*, Unwin, London.
Searle, J. (1993), «Rationality and realism. What is at stake?»: *Daedalus* (otoño), 55-83.
Searle, J. (1997), *La construcción de la realidad social*, trad. de A. Domènech, Paidós, Barcelona.
Stich, S. P. (1996), *Deconstructing the Mind*, Oxford University Press, Oxford.
Tugendhat, E. (1979), *Selbstbewußtsein und Selbstbestimmung*, Suhrkamp, Frankfurt a. M.

FORMAS DIFERENTES DE HACER Y DE ENTENDER LA TEORÍA ECONÓMICA: UN PANORAMA SELECTIVO

Juan Carlos García-Bermejo Ochoa[1]

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de estas páginas se comentan algunos desarrollos de la teoría económica dominante producidos desde el final de la segunda guerra mundial. Con varios propósitos. Uno de ellos es ilustrar cómo se ha ido asentando la investigación basada en la construcción y el análisis de modelos matemáticos, y cómo se ha ido generalizando la idea de que, en muchos casos, las construcciones teóricas no necesitan verse satisfechas, ni siquiera de un modo aproximado, por contrapartidas empíricas, llegándose en ocasiones a mantener esta misma posición respecto de modelos que están destinados a ser aplicados empírica y cuantitativamente. Otro propósito del trabajo es mostrar las formas tan diferentes en las que, en estos sesenta años, se han concebido las teorías, los modelos y la dimensión empírica de unas y de otros. Este propósito parece pertinente porque la teoría económica dominante o neoclásica suele percibirse como un conjunto integrado por teorías o partes con las mismas o análogas características metodológicas (y sustantivas). Además, esa percepción viene favorecida por las corrientes de filosofía de la ciencia que tratan a las teorías como entidades homogéneas en cuanto a su naturaleza, su estructura y sus funciones, hacen lo propio con los modelos y suponen, en consecuencia, que las relaciones entre unas y otros vienen a ser siempre

1. Estoy muy agradecido a Samuel Bentolila, Javier Díaz Jiménez, Juan Urrutia y Juan Carlos Zapatero por sus comentarios y observaciones, que me han permitido mejorar notoriamente este trabajo, en especial en su sección sexta. Ni que decir tiene que los errores son de mi exclusiva responsabilidad.

las mismas, y que lo mismo sucede con las relaciones entre teorías y modelos, por un lado, y la evidencia empírica, por el otro. Por último y sobre todo, lo que pretendemos con este trabajo es sugerir que el desarrollo contemporáneo de la teoría económica plantea al análisis filosófico cuestiones nuevas o renovadas que tienen, a nuestro juicio, un interés indudable.

Todos los desarrollos que se comentan en el trabajo han sido importantes en la evolución de la economía. Asimismo, todos ellos pertenecen a la economía matemática, con lo que hemos evitado incluir la heterogeneidad, ya perceptible más a primera vista, de aquellas corrientes, como la de los derechos de propiedad por ejemplo, menos favorables a la formalización. De todos modos, el panorama que se ofrece es necesariamente selectivo.

La brevedad del espacio disponible impide completar la exposición con comentarios o indicaciones sobre el tratamiento filosófico que han recibido muchas de las cuestiones destacadas o aludidas a lo largo del trabajo. D. W. Hands (2001) incluye un amplio panorama de esos tratamientos y una extensa bibliografía.

2. LA CONCEPCIÓN Y LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA ASOCIADAS CON LA SÍNTESIS NEOCLÁSICA

Nuestro punto inicial de referencia puede ser la concepción de la teoría económica que presenta Paul A. Samuelson en su obra seguramente más influyente, los *Fundamentos del análisis económico*. Este libro, aparecido en 1947, en el que se elabora la llamada síntesis neoclásica entre las dos grandes ramas teóricas, la micro y la macroeconomía, constituyó una de las referencias principales de la época, si no la principal, sobre la estructura y el contenido de la teoría económica (cf. Hands 2001, 60-61; Lucas 1980, 277-284). Por ello, puede servir como exponente de una época, en la que se registra un amplio acuerdo sobre la necesidad de reorientar la disciplina en un sentido más empírico. Sin identificarse con ninguna corriente filosófica particular, ese acuerdo confluye ostensiblemente con la orientación empirista predominante por entonces en la filosofía de la ciencia. Además, la propia concepción que Samuelson ofrece en ese trabajo refleja los grandes rasgos de la visión de las teorías como sistemas hipotético-deductivos.

2.1. *El contexto de los* Fundamentos del análisis económico

Dos acontecimientos decisivos en la economía académica habían favorecido ese cambio de actitud. Por un lado, la institucionalización de la macroeconomía como rama teórica de significación similar a la microeconomía, propiciada por la aparición en 1936 del famoso libro de John Maynard Keynes *La teoría general del empleo, el interés y el dinero*, y la relativamente rápida aceptación de sus tesis básicas. Por el otro, la consolidación de la econometría como el movimiento impulsor de la construcción y estimación de modelos cuantitativos empíricos, que puede simbolizarse en la fundación, en 1930, de la Econometric Society y en la aparición de la revista *Econometrica* en enero de 1933.

Con independencia de que la razón fundamental esgrimida por Keynes (1936/1965, 3, 378) a favor de su propuesta teórica sea su mejor adecuación empírica, es un hecho que la propia configuración que adopta la nueva rama favorece mucho más claramente la aplicación y la contrastación empírica de sus construcciones teóricas. El enfoque microeconómico se caracteriza principalmente por tomar el comportamiento maximizador u optimizador de los agentes individuales como punto de partida en la derivación de las regularidades objeto de estudio en cada caso. Un postulado como ése tiene una gran fuerza intuitiva, sobre todo si puede suponerse que el agente conoce cuáles son las opciones que puede elegir, y que tiene un punto de vista definido sobre cuáles prefiere y cuáles le resultan menos deseables. Análogamente, las propiedades de las preferencias y de la función objetivo de los agentes se prestan a una evaluación intuitiva, introspectiva o por experiencia casual o familiar con una facilidad mayor que a una contrastación empírica de carácter más sistemático basada en datos estadísticos (Hoover 2001*a*, 140).

El enfoque macroeconómico presenta unas características distintas. Bajo el enfoque con el que se difundió la teoría keynesiana en el ámbito académico, un modelo es un sistema de ecuaciones en el que, además de incluirse ciertas identidades, se postulan una serie de dependencias funcionales entre macromagnitudes y algunos precios o índices, como el salario, el tipo de interés y el índice general de precios. Un ejemplo muy expresivo y representativo de tales dependencias es la función de consumo. De acuerdo con una versión sencilla de esta función, el consumo privado agregado real depende positivamente del producto interior real y del valor real de los activos financieros en manos del público, y negativamente de los impuestos y del tipo de interés. Parece evidente que una hipótesis así se presta más y

mejor a ser especificada, estimada y contrastada empíricamente. Asimismo, su posible respaldo intuitivo o introspectivo es mucho menos claro y directo, por lo que su justificación empírica es un requisito pertinente de un modo más inequívoco[2].

2.2. *La obtención de teoremas operacionalmente significativos*

La presencia simultánea de la macro y de la microeconomía había puesto de especial relieve el problema de la heterogeneidad interna de la teoría económica. Por ello, el objetivo principal del libro mencionado de Samuelson es poner de manifiesto la analogía estructural entre las diversas partes de la teoría para mostrar «la existencia de una teoría general que sirve de fundamento a las particulares y las unifica con respecto a dichos caracteres centrales» (Samuelson 1947, 3). El rasgo principal de esa analogía consiste en la derivación, mediante dos variantes del mismo método y a partir de premisas también análogas o al menos claramente relacionadas, de teoremas cualitativos que él califica de operacionalmente significativos. Por ello, su segundo propósito es «demostrar que existen efectivamente teoremas significativos en diversos dominios de las relaciones económicas» (*ibid*., 5). Y no sólo afirma el propósito, sino que lo va cumpliendo a lo largo de la obra, mostrando y subrayando cómo derivar teoremas de esa clase en las distintas partes de la teoría de acuerdo con el método aludido.

Samuelson dedica la primera parte del libro a la derivación de dichos teoremas mediante la versión estándar del método de la estática comparativa, es decir, a partir de las condiciones obtenidas al máximizar la función objetiva propia de cada caso. Un ejemplo prototípico son los teoremas sobre la existencia y las propiedades de la función de demanda individual, que junto con las de la función de demanda de mercado vienen a ser en este marco teórico las regularidades empíricas a explicar, y que se derivan, entre otras, de la hipótesis de que el consumidor maximiza su función de utilidad bajo las restricciones presupuestarias que limitan su capacidad de compra. Sin embargo,

2. Por otro lado, y aunque fuera un marco menos propicio a los nuevos aires, también en el ámbito microeconómico se registraron revisiones de la teoría vigente que revelaban una actitud similar, como, en el marco de la teoría de la demanda, la adopción del planteamiento ordinal y la propuesta hecha por el propio Samuelson de la teoría de la preferencia revelada, de orientación conductista. Por su parte, Edward H. Chamberlin y Joan Robinson pretendieron construir teorías más generales y realistas que permitieran tratar de modo más natural los mercados imperfectamente competitivos. La propia teoría de juegos es presentada y justificada por von Neumann y Morgenstern (1944) en un sentido parecido.

cuando la teoría no parte de hipótesis de conducta individual, como es el caso de los modelos macroeconómicos, ese planteamiento no puede servir. Samuelson propone para tales casos (a los que dedica la segunda parte de su libro) especificar «las propiedades dinámicas del sistema» y sentar «la hipótesis de que el sistema está en equilibrio estable». La idea es que esta hipótesis puede aplicarse frecuentemente para obtener teoremas significativos de estática comparativa, idea a la que bautiza como el principio de correspondencia.

Como Samuelson habla a veces de teoremas operacionalmente significativos, la literatura se ha ocupado de dilucidar el carácter, operacionalista o no, de su postura[3]. Lo cierto es que él suele hablar con más frecuencia de teoremas o resultados significativos sin más[4]. Y lo que tiene en la cabeza recuerda mucho más la postura de Popper que la doctrina operacionalista de Percy Bridgman.

> Por *teorema significativo* entiendo simplemente una hipótesis relativa a los datos empíricos, que se concibe que pueda ser refutada, aunque [fuera] solamente en condiciones ideales. Un teorema significativo puede ser falso. Puede ser verdadero pero de escasa importancia. Asimismo, su validez puede ser indeterminada y prácticamente difícil o imposible de determinar (Samuelson 1947, 4-5).

Conviene advertir, de todos modos, que sólo en un sentido bastante peculiar puede decirse que los teoremas de estática comparativa expresen regularidades empíricas. Para apreciarlo mejor podemos volver al ejemplo de los teoremas sobre la existencia y las propiedades de la función de demanda, y compararlos con la llamada ley de la demanda, que sí expresa una regularidad empírica legaliforme, y según la cual un descenso en el precio de un bien origina, *cœteris paribus*, un aumento en la cantidad demandada de ese bien[5]. Se suele interpretar que es eso precisamente lo que se desprende de la teoría para los bienes llamados normales, es decir, aquellos cuya demanda aumenta y disminuye con la renta. Pero lo que se deriva de la teoría no es exactamente la proposición anterior, sino algo así como que un descenso en

3. Cf., por ejemplo, Blaug (1992, 117-124) o Hands (2001, 61-63).

4. Es de justicia señalar, sin embargo, que el subtítulo de su tesis doctoral, sobre la que están basados los *Fundamentos*, es *La significación operacional de la teoría económica*.

5. Conforme a una larga tradición en economía en relación con las regularidades empíricas suele hablarse de tendencias, porque dada la complejidad de los fenómenos económicos, no se espera que se cumplan sin excepciones (cf. Blaug 1992, 85-89; o Hausman 1992, cap. 8). Sobre el concepto de ley en economía, puede verse Hoover (2001*a*, cap. 2), quien defiende su inexistencia.

el precio de un bien normal origina, *cœteris paribus*, un cambio de equilibrio, y que en el nuevo equilibrio la cantidad demandada de ese bien es menor. Lo que desde el punto de vista empírico introduce diferencias importantes, porque si la situación inicial estuviera, por ejemplo, lejos del equilibrio o el ajuste al nuevo equilibrio no fuese suficientemente rápido, la previsión derivada de la teoría sobre el descenso de la demanda podría no resultar aplicable (Sen 1986, secciones 4 y 5).

Por otra parte, la reivindicación de Samuelson a favor de la obtención de teoremas significativos no es un refinamiento de carácter meramente filosófico. Bajo su punto de vista, se trata de una necesidad para regenerar el estado de la disciplina, que antes de 1930 presentaba, a su juicio, «signos inconfundibles de decadencia» (Samuelson, 1947, 4). Ese estado de cosas habría tenido en parte su origen, o habría venido favorecido por el pensamiento metodológico apriorista tradicional, por «los malos preconceptos metodológicos según los cuales las leyes económicas deducidas de los supuestos *a priori* poseen rigor y validez, independientemente de cualquier conducta humana real» (*ibid.*)[6].

2.3. *La polémica sobre la falta de realismo de los supuestos*

Con su polémico y famoso artículo «La metodología de la economía positiva», de 1953, Milton Friedman defendió la posibilidad de conjugar una concepción de la teoría también de inspiración empirista con la posibilidad de que los «supuestos» de la teoría carezcan de realismo, es decir, sean falsos más allá de cualquier margen razonable de aproximación en todas o en prácticamente todas sus aplicaciones propuestas[7].

Ese artículo es la pieza metodológica más famosa escrita por un teórico en el siglo XX. Es un trabajo largo, en el que trata diferentes aspectos de la teoría. Pero la cuestión central es si la validez de una teoría empírica requiere que sea verdadera o suficientemente aproximada respecto de los casos a los que pretende ser aplicada. Con el artículo, el autor reacciona contra las críticas que se habían dirigido a la hipótesis de la maximización de los rendimientos esperados por su

6. Sobre esa línea de pensamiento tradicional, predominante desde Nassau W. Senior y John Stuart Mill hasta entrado el siglo veinte, puede verse el capítulo 3 de Blaug 1992.

7. Éste es el sentido habitual en metodología económica de los términos «irrealismo» e «irrealista» precisamente por influencia del artículo de Friedman y a pesar de la ambigüedad con la que este autor maneja en él esos términos y sus opuestos «realismo» y «realista».

presunta falsedad y a los intentos de sustituir la condición de competencia perfecta por su falta de realismo[8].

Friedman despliega una argumentación de carácter general sobre la forma de evaluar la validez de las teorías, argumentación repleta de ambigüedades como se ha señalado una vez tras otra en la literatura[9]. Defiende una postura instrumentalista. Las teorías deben ser juzgadas exclusivamente por su rendimiento predictivo en relación con la clase de fenómenos que están destinadas a tratar. Por ello, todo intento de desvirtuar la validez de una teoría mediante la denuncia del irrealismo de sus supuestos (que se refieren a aspectos que la teoría no pretende tratar) es, según él, irrelevante y está fuera de lugar y destinado al fracaso. Sólo la propuesta de nuevas teorías con un rendimiento predictivo mayor puede desbancar a las teorías previamente aceptadas. Y estas nuevas teorías no tienen por qué ser más realistas. Según el autor en una de las afirmaciones que provocaron un escándalo mayor y que Samuelson bautizó como la vuelta de tuerca de Friedman, sucedería todo lo contrario (Friedman 1953, 367-368).

Para defender e ilustrar sus tesis, Friedman recurre adicionalmente a varios ejemplos. Sirva uno de ellos como botón de muestra, con el que ilustra de un modo bastante claro el sentido que tiene su defensa de la hipótesis de que los empresarios maximizan los beneficios:

> Analicemos el problema de predecir las jugadas hechas por un experto jugador de billar. No parece disparatado en absoluto que puedan obtenerse excelentes vaticinios con la hipótesis de que el jugador hace sus tiradas *como si* conociera las complicadas fórmulas matemáticas

8. Sobre estas críticas y los debates consiguientes, pueden verse Hands (2001, 53-54) o Hausman (1992, 158-162). En otro orden de cosas, Hoover (2001*a*, 141) apunta lo curioso que resulta que, siendo Friedman básicamente un macroeconomista, los lugares teóricos defendidos por él y los ejemplos económicos en los que apoya su argumentación sean microeconómicos. Indica su sospecha de que esas mismas tesis hubieran resultado más forzadas en relación con la macroeconomía, por su carácter menos apriorista y más empírico.

9. Por ejemplo, aunque su tesis central sea que el irrealismo de los supuestos de la teoría es una cuestión irrelevante para la validez de ésta, en ningún caso se aclara qué entienda por dichos supuestos. Análogamente, juega con varios sentidos de realismo e irrealismo. Mäki (2003, 1), al resumir su posición, se expresa de este modo: «Se defiende que en lugar de una 'vuelta de tuerca de Friedman' (F-twist) bien definida, lo que 'La Metodología de la Economía Positiva' de Milton Friedman ofrece es una 'mezcolanza de Friedman' (F-Mix): un conjunto de ingredientes ambiguos e inconsistentes entre sí que pueden ensamblarse de distintas formas para configurar posiciones metodológicas diferentes. Esto afecta a temas y conceptos como el propio concepto de ser irrealista, el propósito de las contrastaciones predictivas, las formulaciones de las teorías del tipo 'como-si', la idea de unificación explicativa o de construcción social, y otras más».

> que darán la mejor dirección a la bola, pudiera estimar a simple vista los mejores ángulos, etc., si describiendo la colocación de las bolas pudiera hacer fulminantes cálculos de las fórmulas y entonces encauzar las bolas en la dirección indicada por ellos.
>
> Nuestra confianza en esta hipótesis no se basa en la creencia de que los jugadores de billar, ni siquiera los más expertos, puedan realizar o realicen el proceso descrito; deriva más de la creencia de que si por un procedimiento o por otro no fueran capaces de conseguir el mismo resultado, no serían, en definitiva, unos expertos en el juego (Friedman 1953, 364).

Ejemplos como éste y afirmaciones tan provocativas como las reflejadas más arriba desencadenaron una viva polémica, con episodios que llegan hasta hoy. Estamos ante el artículo sobre cuestiones metodológicas relativas a la economía más conocido, más comentado y más citado hasta la actualidad. El artículo ponía el dedo en la llaga al señalar las dificultades, la aparente incoherencia que supone mantener a la vez una actitud de fondo empirista y una teoría con serios problemas de adecuación empírica, que, además, prácticamente todo el mundo reconoce. Pero quizá deba más su popularidad a que parece abrir una vía para escapar de esas dificultades y de esa posible incoherencia, proporcionando una posible racionalización para ellas y liberando así de escrúpulos a la profesión (Mäki 2003, 4).

2.4. *Teorías aproximadas y racionalidad acotada*

Durante tres años seguidos, se celebraron reuniones sobre la postura de Friedman en el marco de la American Economic Association. En la primera de ellas, la de 1963, además de autores como Paul Samuelson y Ernst Nagel, que asistió como filósofo invitado, intervino también Herbert Simon. Más cernano a la perspectiva de Samuelson, Simon defendió una posición muy difundida dentro y fuera de la economía. Las teorías pueden no llegar a ser verdaderas, lo que puede constituir un mal quizá necesario, pero lo deseable es que sean lo más aproximadas posible, porque cuanto más lo sean más aproximadas serán las conclusiones obtenidas a partir de ellas (Simon 1963, 247)[10].

10. Gibbard y Varian (1978, 669-672) introducen el concepto de aproximación básicamente en el mismo sentido que Simon. Por otro lado y en contra de la idea de que modelos más aproximados conducen a consecuencias más aproximadas, Akerlof y Yellen (1985*a*, 1985*b*) muestran que pequeñas desviaciones individuales respecto de una conducta racional pueden dar lugar en el plano agregado a desviaciones de un orden mayor de magnitud. Por último, podría parecer que Friedman (1953, 368) sostiene una posición similar a la de Simon, pero inmediatamente aclara que el grado de aproximación sólo puede comprobarse mediante la comprobación de las predicciones.

De todos modos, Herbert Simon es más conocido por otras aportaciones suyas, como la convincente crítica que, sólo un par de años después de la publicación del trabajo de Friedman, dirigió a la noción de racionalidad entendida como maximización u optimización. En sus líneas básicas, esa crítica sería ampliamente compartida entre los propios partidarios de la teoría dominante, en la que esa idea de racionalidad es una pieza clave. El núcleo argumental de Simon se basa en las limitaciones informativas y cognoscitivas de los agentes, limitaciones que dependen, además, del momento histórico y de los recursos informativos y de cálculo disponibles en él. En opinión de Simon, estas limitaciones son habitualmente tales que, aunque existiera una opción óptima, los agentes serían incapaces de identificarla. Los agentes sólo pueden ser racionales de una manera limitada, acotada.

En consecuencia, Simon monta dos propuestas. Por un lado, defiende que la teoría económica, en lugar de suponer que los agentes operan racionalmente, debe diseñar métodos y procedimientos, como la programación lineal o los desarrollados en inteligencia artificial por ejemplo, que ayuden a los agentes a tomar decisiones razonables mejor informadas. Además, bosquejó unas ideas básicas, bastante conocidas, para modelar la conducta de los agentes bajo un concepto de racionalidad limitada o acotada: la idea de nivel de aspiración y la idea de satisfacción (cf. Selten 2001, 13-14). Lo que el agente busca habitualmente no es tomar la mejor decisión posible, que ni siquiera sabrá cuál es, sino satisfacer el nivel de aspiración que se haya fijado de antemano en función de su información y experiencia previa.

Además, la crítica de Simon se ha visto notablemente reforzada por la acumulación de resultados experimentales sobre conducta individual contrarios al enfoque convencional y, especialmente, a la teoría de la utilidad esperada, proceso en el que ha desempeñado un papel muy destacado uno de los dos autores que recibieron en 2002 el premio Nobel de economía, Daniel Kahneman (cf., por ejemplo, Rabin 1998 o Starmer 2000)[11].

Dos breves comentarios antes de cerrar este apartado. Primero, recordar que el propio Popper mantiene en torno al análisis situacional y al principio de racionalidad una postura chocante, que no es fá-

11. Sobre el tratamiento de la racionalidad limitada en el marco de los juegos evolutivos, puede verse Binmore (1987 y 1988, o 1992, cap. 9). Es un dato significativo que después de todo el tiempo transcurrido desde que Simon formulara sus críticas por primera vez a la noción de racionalidad sustantiva, los intentos por desarrollar planteamientos de racionalidad acotada en la línea sugerida por él hayan sido escasos y, según reconocen sus propios protagonistas, se hallen todavía en un estado embrionario (Selten 2001, 14; Rubinstein 1998, 3).

cilmente conciliable con el resto de su pensamiento por cuanto considera que el principio de racionalidad o bien es falso o bien es infalsable (Zapatero 1977; Hands 2001, 285-286). En segundo lugar, dejar indicado, aunque sea muy sumariamente, que las observaciones recogidas más arriba sobre la noción de racionalidad inciden también sobre los propios conceptos habituales de equilibrio, en los que se incluye la suposición de que los agentes maximizan u optimizan sus preferencias, sus objetivos. Con independencia, además, de que las propias nociones de equilibrio puedan presentar problemas adicionales, como tendremos ocasión de comentar más adelante.

2.5. *Modelos macroeconométricos*

Las posiciones de Samuelson, Friedman y Simon se mueven en un plano básicamente teórico. Cuando hablan de la aplicación y de la contrastación empíricas de la teoría lo hacen en un vago sentido genérico, o en un sentido casual y cualitativo. Por eso, conviene completar los comentarios sobre nuestro punto de arranque volviéndonos a referir al cambio sustancial en la forma de entender esas tareas que trajo consigo la consolidación de la econometría. Con ese cambio, la aplicación y la contrastación empíricas de la teoría se convirtieron en tareas técnicas rigurosas y sistemáticas, como ilustraban especialmente en la época que comentamos los modelos macroeconométricos.

El movimiento econométrico propugnaba la vinculación permanente de la investigación teórica con la evidencia empírica (principalmente estadística) disponible en cada caso. Primero y sobre todo, con la finalidad de poder especificar cuantitativamente las construcciones teóricas, mediante la aplicación de los métodos estadísticos de estimación, para poder así generar predicciones numéricas. En segundo lugar, para que esa evidencia pudiera servir de fuente de inspiración en el descubrimiento de regularidades empíricas, y de piedra de toque para poder controlar empíricamente la validez de las formulaciones teóricas (Frisch 1933, 1-2; Haavelmo 1944, 1). A su vez, y teniendo en cuenta además la complejidad de las formulaciones y de los problemas que el nuevo planteamiento traía consigo, para todo ello resultaba necesario el éxito de otro de los propósitos del movimiento: impulsar la formulación matemática de la teoría y propiciar el tratamiento matemático de los datos estadísticos (Frisch 1933, 3).

Una de las consecuencias conjuntas más destacadas del impulso cobrado por el movimiento econométrico y de la institucionalización de la macroeconomía fue la construcción y el empleo de grandes modelos macroeconométricos de diferentes economías, principalmente

la estadounidense, a lo largo de los años cincuenta y sesenta, entre cuyos pioneros destacan Jan Tinbergen y Lawrence R. Klein. La finalidad principal de estos modelos, que son sistemas de ecuaciones, era la predicción numérica, cuantitativa. Esta finalidad predictiva y las crecientes posibilidades informáticas de cálculo trajeron consigo la creciente complejidad de estos modelos, cuyos síntomas más superficiales son el elevado número de las ecuaciones que los componen y de las variables empleadas en su formulación[12].

El planteamiento econométrico en general y la serie de modelos macroeconométricos a la que dio paso despertaron unas expectativas extraordinariamente optimistas entre autores muy cualificados. Joseph Schumpeter (1933, 11-12), por ejemplo, se manifestaba convencido de que el desarrollo de la disciplina iba a descansar en un acuerdo básico sobre todas las cuestiones relevantes, similar al que garantiza el desarrollo propio de la ciencia natural. Y como refieren Kydland y Prescott (1991, 166), Robert Solow se manifestaba convencido de que sólo quedaba por completar la tarea «trivial» de atribuir a los parámetros los valores numéricos correctos, lo que confiaba que sucediese en menos de cincuenta años.

A pesar de estas expectativas y del rendimiento predictivo a muy corto plazo de los modelos comentados, un acontecimiento importante vino a mermar la confianza en las técnicas econométricas a la hora de discriminar entre enfoques teóricos alternativos. La situación de conflicto teórico con la teoría keynesiana se generó al proponer Milton Friedman, en 1956, una versión actualizada de la teoría cuantitativa del dinero. Además y como es usual en macroeconomía, el enfrentamiento no era sólo teórico, sino que incorporaba un enfrentamiento político. En efecto, la consecuencia más conocida de la propuesta del profesor de Chicago era la recomendación de una política conservadora limitada a mantener un crecimiento estable de la cantidad del dinero, frente a la intervención política activa y vigilante típica del planteamiento keynesiano. Por otro lado, Friedman había presentado su formulación en el marco del mismo modelo básico en cuyos términos se presentaban y manejaban habitualmente las formulaciones

12. Por ejemplo, el modelo de la unidad de econometría y predicción de la Wharton School of Finance and Commerce de la Universidad de Pensilvania, modelo desarrollado por Michael K. Evans y por el propio Lawrence Klein, que no es de los mayores, consta de 76 ecuaciones, de las cuales 29 son identidades. Por su parte, las variables del modelo ascienden a 117, de las que 42 son exógenas (Evans 1969, 433-442). El proyecto de la Brookings Institution ambicionaba manejar entre ciento cincuenta y doscientas ecuaciones, y preveía la posibilidad de llegar a las cuatrocientas (Evans 1969, 503).

keynesianas, que era además la finalidad para la que John Hicks lo desarrolló. Por ello, el enfrentamiento teórico tenía lugar de una manera especialmente favorable para que no se presentaran problemas de inconmensurabilidad. Sin embargo, a pesar de los intentos de carácter técnico por discriminar entre ambos enfoques, el conflicto persistió en términos similares hasta los años setenta, hasta que se hizo presente un hecho muy llamativo y contrario a las previsiones de los modelos keynesianos, la presencia persistente y simultánea de elevadas tasas de inflación y de desempleo (Sutton 2000, 30-31; Lucas y Sargent 1979, 13)[13].

Por otro lado, la contraposición teórica y política persiste hoy en día, manteniéndose desacuerdos sobre asuntos nada marginales. Por ejemplo, en su conferencia con motivo de la concesión del premio Nobel, George Akerlof (2002, 412) enumera seis fenómenos macroeconómicos, que no tienen cabida o que sólo encuentran el silencio en el enfoque que, conocido como la nueva macroeconomía clásica o la revolución de las expectativas racionales, sucedió a Friedman en el frente conservador. La lista la encabezan, cabría decir que de manera algo escandalosa, la propia existencia de desempleo involuntario, el impacto de la política monetaria sobre el producto y el empleo, y el hecho de que la deflación no se acelere cuando el desempleo es elevado[14].

13. Sutton (2000) incluye este episodio bajo su interpretación de las razones por las que el planteamiento econométrico estándar dejaría de funcionar adecuadamente en determinadas ocasiones. Sobre la crítica de Robert Lucas al planteamiento de los modelos macroeconómicos de inspiración keynesiana, volveremos en la penúltima sección. En cualquier caso, y con independencia de diagnósticos tan refinados, basta una perspectiva superficial para percibir ya a ese nivel la presencia, a la hora de interpretar una contrastación desfavorable de un modelo econométrico, de un problema general de indeterminación del tipo Duhem-Quine, originado por la multiplicidad de hipótesis, supuestos y decisiones que quedan sometidas a contraste simultáneamente en los ejercicios econométricos. Un fracaso predictivo puede responder a problemas: 1) en el modelo teórico (por ejemplo, en la selección de variables, de niveles de agregación y de retardos, en las suposiciones sobre las relaciones entre las variables); 2) en su especificación funcional; 3) en las restricciones *a priori* sobre los parámetros del modelo; 4) en las hipótesis sobre los términos de perturbación; 5) en la aplicación realizada de las técnicas de estimación; 6) en la calidad de los datos o en su proceso de elaboración, o 7) en la falta de correspondencia entre los datos y las variables presuntamente medidas mediante ellos.

14. Krugman (1994) explica de modo claro y sencillo la contraposición entre las dos grandes tradiciones macroeconómicas rivales. Por otro lado, Axel Leijonhufvud (1985, 1997) subraya la escasa capacidad de los argumentos matemáticos y empíricos para inducir la revisión de los componentes más generales, cosmologías los llama él, de las creencias y convicciones de los economistas sobre el funcionamiento de los sistemas económicos y, derivadamente, sobre las consecuencias políticas de esas creencias y convicciones.

3. LA TEORÍA DEL EQUILIBRIO GENERAL

En 1954 se publicaba el artículo de Kenneth Arrow y Gerard Debreu «Existencia de un equilibrio para una economía competitiva» y, en 1959, el libro de Gerard Debreu *Teoría del valor. Un análisis axiomático del equilibrio económico*. Estos dos trabajos representan la recuperación del enfoque del equilibrio general y, con ello, la renovación de la rama teórica que se aceptó ampliamente y enseguida como la central en el ámbito microeconómico y la de mayor prestigio técnico. Hay que añadir de todos modos que también provocó reacciones contrarias por su elevado nivel de abstracción y, a juicio de esas denuncias, por su falta de contenido y de relevancia empírica.

3.1. *El modelo de Arrow y Debreu*

En las dos contribuciones mencionadas, la teoría del equilibrio general no se diferencia de la teoría microeconómica expuesta en los *Fundamentos* de Samuelson por adoptar unas hipótesis diferentes sobre el comportamiento de los agentes económicos, ni por introducir una noción radicalmente nueva de equilibrio competitivo. Su mayor peculiaridad es la de resolver un problema que, aunque abordado en diversas ocasiones desde que Leon Walras lo planteó en torno a 1870, no se había resuelto previamente de una manera satisfactoria: la existencia de algún equilibrio competitivo global para toda la economía, es decir, de un conjunto de precios, uno por cada mercado, que rigieran simultáneamente en todos los mercados y a los que todos los agentes estarían maximizando la satisfacción de sus intereses, necesidades y deseos. Además, se introdujo la aplicación de teorías matemáticas que no se habían aplicado antes en economía, como la topología y la teoría de los conjuntos convexos, y se introdujo también la aplicación rigurosa del método axiomático en el sentido del grupo Bourbaki, con la consiguiente exigencia de un nivel muy elevado de formalización, que se traducía en una separación tajante y característica entre el nivel inferencial formal o sintáctico y el plano de la interpretación económica de la teoría[15].

15. La teoría de juegos es un precedente en ambos asuntos de la aplicación de teoremas topológicos y de la adopción de un planteamiento axiomático riguroso. Por otra parte, aunque Mongin establezca una distinción muy tajante entre la aplicación rigurosa del método axiomático propia del equilibrio general y el método basado en la construcción y análisis de modelos matemáticos, en el desarrollo de este segundo método puede haber sido un factor decisivo el hecho de que el análisis realizado en la teoría del equilibrio general estuviera referido a unas economías definidas formalmente y, por lo tanto, artificialmente construidas.

La demostración de la existencia de equilibrio puede entenderse como una respuesta, entre otras posibles, a una cuestión económica de un notorio calado conceptual, la de cómo pueden coordinarse las decisiones económicas de los numerosísimos agentes que operan de manera separada e independiente en una economía descentralizada, de modo que no se genere una situación caótica. Aunque dado el papel de la noción de equilibrio en la teoría económica, la pregunta puede leerse también como una pregunta acerca de la propia consistencia de la teoría.

La cuestión de la coordinación tiene, además, una vertiente evaluativa. No se trata sólo de que se garantice la existencia del equilibrio competitivo como mecanismo de coordinación de la actividad económica global a través de precios y mercados. Como existen otros mecanismos alternativos, al menos en principio es relevante preguntarse también si el mecanismo competitivo funciona de una manera eficiente, como supone el conocido mito de la mano invisible de Adam Smith. Por eso, entre los resultados principales de la teoría hay que incluir, junto al teorema de existencia, el conocido como primer teorema fundamental del bienestar, en el que se afirma que, en las economías de las que trata la teoría, todo equilibrio competitivo es máximamente eficiente en el sentido de Pareto[16].

Para ilustrar los extremos que nos interesan, podemos ceñirnos a estos dos teoremas, el de la existencia de algún equilibrio competitivo y el primer teorema fundamental de la economía del bienestar, sobre los que conviene advertir que ambos hablan de unas economías específicamente diseñadas al efecto, que se definen explícita y formalmente con carácter previo. Huelga decir, por otro lado, que a lo largo de su desarrollo la teoría del equilibrio general no se ha circunscrito a un conjunto tan determinado de planteamientos y de cuestiones.

3.2. *Comparación con la postura de Samuelson acerca de los teoremas significativos*

Si a la vista de todo lo anterior comparamos esos dos teoremas con los teoremas significativos sobre los que Samuelson llamaba la atención, pueden subrayarse tres diferencias importantes.

En primer lugar, las cuestiones abordadas en la teoría del equilibrio general son de una naturaleza conceptual muy general, y no pueden

16. Para no alargar la exposición, dejaremos de lado el también importante segundo teorema fundamental del bienestar, y su posible apoyo teórico a la idea del socialismo de mercado.

asociarse con fenómenos o regularidades empíricas concretas. Compárese, por ejemplo, el problema general de la coordinación de los sistemas económicos, o la cuestión de la eficiencia de los diferentes sistemas de organización económica, con la pregunta sobre cómo varía la demanda de un bien cuando varía su precio o el de bienes relacionados. En comparación con las cuestiones de esta última clase, las primeras podrían calificarse de filosóficas. En el caso de la coordinación, por ejemplo, no se trata de ninguna regularidad específica que se presente además inexorablemente. Es un fenómeno que se produce de muy diversas maneras, nunca de manera precisa, y con múltiples peculiaridades y excepciones (Arrow 1974, 253). En el caso de la eficiencia del mecanismo competitivo, además, la disponibilidad de resultados formales sobre el asunto no borra su dimensión política e ideológica[17].

En segundo lugar, nótese que lo que se hace en ambos teoremas es establecer formalmente que si en las economías definidas explícita y formalmente se cumplen ciertas condiciones, entonces se darán ciertas propiedades, que tienen que ver a su vez con otros dos conceptos definidos con el mismo rigor formal: el de equilibrio competitivo y el de óptimo según Pareto. Por ello y a diferencia de los propuestos por Samuelson, son teoremas formalmente válidos, sobre los cuales no tiene sentido plantearse su contrastabilidad empírica. Son empíricamente irrefutables como cualquier proposición formalmente válida.

Tercero, si no son empíricamente refutables, la aspiración que cabría albergar respecto de esos teoremas es que fuesen aplicables a casos empíricos. Lo que supondría que las economías de las que se habla en ellos y las condiciones que se supone que satisfacen tendrían que tener contrapartidas empíricas suficientemente aproximadas. Sin embargo, no es ése el caso. Ni siquiera piensan que lo sea sus propios creadores (Arrow 1974, 268-269). Las economías de las que se habla en los teoremas son construcciones matemáticas, son economías formales, sin duda de una sencillez asombrosa, pero artificiales, ficticias, sin contrapartida empírica razonablemente aproximada. Por ejemplo, además de no haber gobierno ni dinero, en esas economías los agentes deben tomar en el momento presente una decisión para «toda la

17. Como es sabido, la teoría del equilibrio general sería, en opinión de Alexander Rosenberg, una ciencia normativa que puede ser útil considerar como «una rama de la filosofía política contractualista» (Rosenberg 1998, 297) precisamente porque «es ya una parte del argumento contractualista fuerte para la adopción del mercado como institución social» (Rosenberg 1998, 285). Curiosamente, un especialista en el campo, Michio Morishima, hace un diagnóstico en cierta manera parecido, afirmando que la teoría del equilibrio general se ha convertido en una filosofía social matemática (Morishima 1991, 69-70).

vida» (Debreu 1959, 52). De este modo, «el precio de una mercancía es el precio que hay que pagar *hoy* por la disponibilidad en el futuro de una unidad de ella» (Debreu 1959, 28). Asimismo y puesto que se trata del mecanismo competitivo, todos los agentes son precio-aceptantes (lo que sólo sería aplicable, en el mejor de los casos y con algún margen de aproximación, a sectores de actividad muy específicos y minoritarios). Desde el principio Arrow y Debreu acompañaron el modelo de una segunda interpretación, más realista, por cuanto incorpora la incertidumbre de los agentes respecto del futuro. Bajo esa interpretación, las mercancías devienen contingentes, es decir, además de estar caracterizadas por su naturaleza y características propias, por su localización espacial y por el periodo en el que pueden estar disponibles, dependen de que se dé un estado de la naturaleza, que puede tener lugar o no. De este modo, los propios planes de consumo y de producción, así como los conjuntos individuales de consumo y de producción, presuponen el conocimiento, por parte de consumidores y productores, de todas las eventualidades que tienen alguna posibilidad de presentarse ahora y en el futuro, y de la probabilidad de que lo hagan.

Pero entonces, ¿qué es lo que esos teoremas pueden tratar de decirnos? Hay un pasaje de Kenneth Arrow y Frank Hahn (1971, vi-vii) sobre el tema que se ha hecho justamente famoso. En él los autores invitan a leer los teoremas comentados como condicionales subjuntivos de sentido modal.

> Existe una serie de economistas larga y muy impresionante, desde Adam Smith hasta el presente, que han tratado de mostrar que una economía descentralizada en la que la motivación de los agentes fuera su propio interés y la información fuese la proporcionada por los precios como señales, sería compatible con una disposición coherente de los recursos económicos que, en un sentido claramente definido, podría ser considerada superior a una amplia clase de disposiciones alternativas posibles.

Y añaden:

> Sobre la proposición que se ha ofrecido en torno a ese tema y que ha sido tomada tan seriamente en consideración, es importante saber no sólo si es verdadera, sino también si podría serlo. Una gran parte de lo que sigue está dedicado a esta última cuestión, que nos parece que reclama abiertamente la atención de los economistas.

Además, Arrow (1974, 268-269) sostiene expresamente la idea de que el modelo, en lugar de responder sólo a un cometido de carácter

descriptivo, constituye un ideal normativo. Lo relevante no son las coincidencias entre el modelo y el mundo. Son las diferencias entre uno y otro las que sugieren las políticas encaminadas a mejorar la eficiencia en el segundo. Una de las partes de la economía del bienestar incluida habitualmente en los libros de texto, la titulada como «fallos del mercado», tiene precisamente esa estructura argumental, que podríamos llamar de «aplicación por comparación y diferencias» (cf. Benetti, 1997)[18].

3.3. *Matematización y formalización de la teoría. Balances y estadísticas sobre la proporción entre la investigación teórica y la investigación empírica*

La teoría del equilibrio general se unió al impulso dado por el movimiento econométrico a la formulación matemática de la teoría, contribuyendo así a generalizar este tipo de presentación[19]. Debreu (1986, 1991) ilustra estadísticamente el proceso rápido e irreversible de expansión de la economía matemática.

Este proceso no ha estado exento de apreciaciones críticas, de las que alrededor de 1970 se registró una notable concentración. Esas apreciaciones encontraron además un portavoz con gran audiencia en W. Leontief (1971), quien denunciaba un desequilibrio sustancial entre la lentitud con la que se avanzaba en la fundamentación empírica de la disciplina y «la prolífica superestructura de teoría económica pura, o como preferiría decir, especulativa», desequilibrio que detectaba también en la propia econometría. Leontief (1982) volvió a poner encima de la mesa el problema del desequilibrio o la desproporción entre el trabajo teórico y la investigación empírica, basando su alegato en una estadística sobre los artículos publicados en una revista de tanto relieve como la *American Economic Review*, y viendo sus datos y apreciaciones confirmados en otros dos estudios posteriores (Morgan 1988; Oswald 1991). En el primero de ellos se hace una comparación con datos relativos a la química, la física, la sociología y la ciencia política estadounidenses, poniéndose de manifiesto que es

18. En otro orden de ideas, la concepción estructuralista de las teorías dedicó una atención especial a la reconstrucción de la teoría del equilibrio general, como se recoge en Hands (2001, 341-348). Hands (1985) desarrolla una posición crítica respecto de estos intentos.

19. Aunque, como señala Mongin (2001, 130-132), ni toda la corriente principal se ha presentado en términos matemáticos (alude, por ejemplo, al llamado teorema de Coase), ni la matematización es exclusiva de ella. Por otro lado, el nivel de matematización y de formalización exigido en cada caso puede ser muy diverso.

en economía donde los trabajos de investigación teórica pura representan la mayor proporción, a gran distancia de las demás disciplinas.

3.4. *Bienestar y elección social*

La noción paretiana de eficiencia es ciega ante cuestiones distributivas. Un estado social óptimo según Pareto puede dejar en la miseria a una parte sustancial de la población. Por ello, la consideración de valores como la justicia y la equidad, y el análisis de las decisiones públicas o colectivas que puedan conducir a ellos, complementan el análisis planteado en la teoría del equilibrio general centrado en la eficiencia. Además, la conexión entre ambos tipos de análisis no se detiene ahí. Ya apuntamos más arriba que una de las novedades de la teoría del equilibrio general fue la adopción del método axiomático. La teoría de la elección social también aplica ese método de un modo similar desde el libro pionero de Kenneth J. Arrow *Elección social y valores individuales*, que incluye el famoso teorema de imposibilidad. Resulta difícil imaginar un desarrollo tan notable como el que esta forma moderna de entender y desarrollar la economía normativa ha experimentado sin el recurso a ese método[20]. Con la peculiaridad de que cuestiones previamente descartadas como objetos legítimos de la economía del bienestar por dudarse que fueran susceptibles de un tratamiento objetivo, como es el caso de los propios conceptos de justicia y de bienestar o el de las comparaciones interpersonales de utilidad, se han convertido en asuntos analizados con plena normalidad. Aunque pueda sonar chocante, el método axiomático ha dotado a la economía normativa de una amplitud de la que carecía previamente y que se ha adentrado en territorios previamente prohibidos. Asimismo, la aplicación del método a manos de Sen ha servido incluso para poner al descubierto limitaciones muy significativas en el planteamiento tradicional en economía del bienestar social (cf. Barberá y García-Bermejo 1977; García-Bermejo 2002).

Debe mencionarse también la clarificación metodológica que algunos planteamientos matemáticos previos y, sobre todo, la aplicación del método axiomático han traído consigo al terreno metodológicamente más movedizo, menos firme, de la economía normativa, y la consecuente convergencia metodológica que se ha producido con la economía positiva. Un resultado obtenido en economía normativa

20. El propio hecho de que un autor tan centrado en el desarrollo de la disciplina como Sen recibiera la distinción del premio Nobel en Economía en 1998 es un dato elocuente sobre la significación que la materia ha llegado a alcanzar.

es admitido como tal resultado por las mismas razones por las que lo son los resultados obtenidos en la teoría económica positiva. Los criterios de validez son los mismos en ambos campos, y son independientes de las valoraciones, motivaciones y otras connotaciones que puedan subyacer a los ejercicios, así como son también independientes del sentido, el interés, el contenido o la plausibilidad de las diferentes condiciones postuladas o supuestas en ellos.

Por último, el teorema de imposibilidad de Arrow ejemplifica cómo la teoría puede ocuparse y reflexionar sobre ella misma, cómo puede constituirse así en su propio objeto de estudio (cf. García-Bermejo, 2002, 223). En este sentido, cabe establecer cierto paralelismo con el teorema de existencia de equilibrio, como ya quedó apuntado más arriba[21].

4. CONTRIBUCIONES PIONERAS EN LA ECONOMÍA DE LA INFORMACIÓN[22]

Ocupémonos ahora de los rasgos más sobresalientes de algunos modelos pioneros de la economía de la información, a cuyos autores, George Akerlof, Michael Spence y Joseph Stiglitz, se les concedió el premio Nobel del año 2001. Con esos modelos, estos autores abordaron el estudio de las consecuencias de las asimetrías informativas, es decir, los efectos debido a que unos agentes dispongan de más información relevante que otros. Y consiguieron establecer que esos efectos eran muy diferentes a los previstos en la tradición teórica previa, en cuyas construcciones no solían tener cabida las deficiencias informativas, y en la que se consideraba que si las imperfecciones informativas no eran sustanciales, no debían originar distorsiones significativas (Stiglitz 2002, 461).

Para llevar a cabo su propósito, los autores mencionados diseñaron y trabajaron con modelos que, comparados con los de equilibrio general, presentan características claramente distintas y peculiares, y responden a una estrategia de investigación conscientemente diferenciada (Akerlof 2002, 413-414; Stiglitz 2002, 469)[23]. En particular, lo

21. Otra pieza significativa en este sentido es el principio de revelación, que se refiere a unas construcciones teóricas que se conocen como mecanismos, y a las que nos referiremos de nuevo en la sección quinta.

22. Esta sección está basada en Sugden (2000) y García-Bermejo (2003), donde se estudian con más detalle los modelos comentados en ella.

23. Akerlof (2002, 413-414) insiste en que construir modelos de esta clase constituye una reorientación en el trabajo teórico; señala como precedentes de esta clase de

que sigue, además de situarse en la línea abierta por Sugden (2000), se basa en el análisis del modelo que presenta Akerlof (1970) sobre el mercado de coches de segunda mano, en el del modelo de Spence (1973) sobre señalización, en el del modelo de Rotschild y Stiglitz (1976) sobre el mecanismo de autoselección en el mercado de seguros, y en el del modelo de Salop y Stiglitz (1977) sobre la dispersión de precios.

4.1. *Modelos como ejemplos prototípicos, muy simplificados y abiertamente irrealistas*

Todos ellos son modelos «específicos o especiales» que están construidos para recoger aspectos o circunstancias especiales, específicas. No reflejan un concepto general de economía o de mercado capaz de ir albergando todos los factores cuyos efectos pretendan estudiarse. Son modelos construidos para analizar fenómenos concretos y que no están previstos para servir de base a otros ejercicios que versen sobre problemas diferentes[24].

Además, aunque la cuestión o el fenómeno que centra el interés de los ejercicios de referencia tenga un alcance y un interés general, su estudio se lleva a cabo mediante el análisis de un modelo que se diseña y presenta como un ejemplo específico destinado a ilustrar esa cuestión o ese fenómeno. O los propios modelos, o los mercados o situaciones a los que el modelo se refiere, o unos y otras a la vez son elegidos y explícitamente presentados como ejemplos particulares del fenómeno general estudiado. Y son elegidos como ejemplos precisamente por su capacidad para ilustrar ese fenómeno de un modo especialmente prototípico o familiar.

Otra de las características que más llaman la atención ya a primera vista en esos modelos es su enorme sencillez, su grado de simplificación, que es realmente extrema en casos como Akerlof (1970) y Spence (1973). En el plano matemático, la simplificación incluye a veces mantener la formulación del modelo a un nivel matemático elemental, para evitar complicaciones de índole formal. Akerlof (1970) y Spence (1973) son de nuevo especialmente ilustrativos al respecto. En el plano descriptivo o representativo, la consecuencia inmediata de la simplificación que se lleva a cabo es que los modelos terminan siendo claramente irrealistas, en el sentido de que no tienen ninguna,

modelos los desarrollados en la teoría del crecimiento en la década de los años sesenta, e indica cómo la primera ocasión en la que oyó el verbo «modelar» tuvo lugar en el verano de 1969.

24. Debreu (1984, 275; 1986, 1267; 1991, 4) subraya reiteradamente la vocación de generalidad de los modelos de la teoría del equilibrio general.

o prácticamente ninguna contrapartida empírica de la que sean aproximaciones en alguna medida razonable.

Tanto el grado de simplificación del modelo como su grado de irrealismo son rasgos que los autores suelen reconocer expresa y reiteradamente, quienes suelen indicar la finalidad o la justificación de muchas de las decisiones simplificadoras que toman (cf., por ejemplo, Salop y Stiglitz 1977, 494, o Akerlof 1970, 489-491). Lo que pone de manifiesto, y este extremo debe ser especialmente destacado, que esas decisiones no se consideran como resultados indeseados, ni como simplificaciones impuestas que haya habido que aceptar resignadamente, por razones técnicas por ejemplo. Son decisiones expresamente adoptadas en función de los propósitos a los que trata de servir el ejercicio, forman parte de la estrategia de la investigación. Consecuentemente, la falta de realismo que esas simplificaciones traen consigo, y que no es más que la otra cara de la misma moneda, puede verse también como parte de una estrategia consciente y deliberada. A este respecto, es muy expresiva, y conocida, la forma en la que Gibbard y Varian (1978, 676) se refirieron a esta circunstancia como una «distorsión deliberada de la realidad».

Por otro lado, los casos estudiados ilustran muy bien la idea de simplificación apuntada por Sugden (2000, 25). Un modelo es simplificado no porque sea una representación abstracta o simplificada de una entidad o de un sistema empírico, sino porque al elegir entre las diferentes opciones que se barajan para construir el modelo, se seleccionan las más sencillas[25].

4.2. *Teoremas referentes a los modelos y conjeturas de carácter general. El problema inferencial*

Aunque en estos ejercicios el énfasis formalizador sea muy inferior al exigido en equilibrio general, desembocan también en conclusiones (llamados muchas veces teoremas) derivadas deductivamente del modelo. En general, en ellas se afirma que si (en el mercado o situación descrita por el modelo) se dan ciertas circunstancias o factores, entonces sucede (en el modelo) cierto acontecimiento o se da cierta circunstancia. En el modelo de Akerlof (1970), por ejemplo, si hay asimetría informativa, no hay ninguna transacción, y se registran pérdidas de bienestar. En el modelo de Salop y Stiglitz (1977), por poner otro ejem-

25. En un sentido paralelo, Sugden (2000, 21-22) indica que la simplificación no tiene por qué descansar en operaciones como las previstas en el método del «aislamiento» propugnado por Mäki (1994*a*, 149-152; 1999, 3-5).

plo, si cada uno de los dos grupos de consumidores incurre en costes distintos por obtener la información relevante, entonces (si hay equilibrio) hay dispersión de precios (dos precios), registrándose también en este caso pérdidas de bienestar.

Sin embargo, el ejercicio se realiza en función de otro tipo de resultado. A diferencia de lo que sucede en la teoría entendida al modo de Samuelson y en la teoría del equilibrio general, donde los teoremas obtenidos constituyen resultados del tipo buscado, en estos ejercicios el blanco al que está dirigido el análisis es otro. Los teoremas referentes a lo que sucede en el modelo sólo tiene un propósito instrumental. Lo que se pretende es presentar e ilustrar de una manera nítida un fenómeno o regularidad novedosa y de carácter general, apoyando la idea de que efectivamente se trata de un fenómeno o regularidad de carácter sistemático, que debe esperarse que opere en una amplia gama de situaciones y entornos.

En el caso de Salop y Stiglitz (1977), por ejemplo, ese fenómeno general es la dispersión de precios originada por la existencia de costes diferentes por obtener la información. En el caso de Akerlof (1970), la contracción del mercado originada por la asimetría informativa entre demandantes y oferentes. En el caso de Rotschild y Stiglitz (1976), la existencia de mecanismos de autoselección que palíen el problema de la selección adversa. En el caso de Spence (1973), la posibilidad de que los emisores tengan incentivos para invertir en señales y a los receptores les convenga interpretarlas como tales.

Es de advertir, de todas maneras, que estas generalizaciones no están presentadas de una manera clara. A veces sólo quedan aludidas, como señala Sugden (2000, 5-6) en relación con el trabajo de Akerlof. Y quizá no pueda ser de otra manera. Por un lado, son generalizaciones provisionales, que no pueden adoptar una forma más precisa hasta que la investigación vaya detallando las diversas formas concretas de presentarse en distintos entornos. Por el otro, normalmente se interpretarán, como es tradicional en economía, como generalizaciones tendenciales, susceptible de que factores perturbadores no tenidos en cuenta impidan que se realicen.

Aunque el modelo sea tratado como un ejemplo ilustrativo, no se limita a ilustrar el fenómeno estudiado como si fuera un fenómeno ya conocido. Al ser un fenómeno que el ejercicio presenta como previa y completa o parcialmente desconocido, no sólo hay que presentarlo con nitidez, sino que también hay que sostener la idea de que se trata de un fenómeno general. En caso contrario, el ejercicio carecería de interés. Por eso, y como Sugden subraya, el problema que se plantea es cómo conclusiones o teoremas referidos a casos particulares e

imaginarios pueden servir de base inferencial para apoyar o sostener esas generalizaciones empíricas.

La tesis inicial de Sugden (2000, 20) al respecto es que la inferencia es de naturaleza inductiva, entendiendo la inducción en su sentido más clásico, como el razonamiento que «nos lleva de proposiciones a proposiciones más generales». Y a propósito de cómo pueden justificarse esas inferencias inductivas, sugiere que una dimensión novedosa de los modelos, su credibilidad, convierte a los modelos, o a las situaciones imaginarias recreadas por ellos, en instancias paralelas de las que poder inducir el fenómeno general en cuestión como si de instancias reales se tratara (Sugden 2000, 24).

Por nuestra parte, en García-Bermejo (2003) subrayamos dos aspectos. Primero, que los elementos de juicio puestos en juego en esos trabajos conforman un conjunto más amplio y complejo, porque el argumento no se concebiría como una inferencia lineal de una instancia particular a una regularidad general, como plantea Sugden. Se trata de argumentar de manera convincente y mediante toda una serie de elementos de juicio diversos que el fenómeno analizado es de carácter sistemático y general. Así, por ejemplo, es de destacar la presencia habitual en esos ejercicios de una versión del modelo analizado en la que se hace desaparecer la asimetría informativa correspondiente para mostrar cómo desaparecen también sus efectos, en una especie de revitalización del método de la diferencia propuesto por John S. Mill en su *Sistema de la lógica*, o la preocupación expresa por la robustez de las conclusiones alcanzadas, o como es especialmente patente en el caso de Akerlof, la indicación expresa de toda una variedad de dominios donde se presentaría alguna manifestación del fenómeno.

En segundo lugar, entre los elementos puestos en juego en los trabajos de referencia sobresale el esfuerzo explicativo o didáctico que se despliega con el fin de poner de manifiesto de la manera más clara posible el mecanismo o las razones por las que se produce el fenómeno bajo estudio[26]. Con él se persiguen y, aunque en distinta medida, se consiguen dos cosas importantes en relación con el respaldo que se ofrece en los ejercicios a las generalizaciones propuestas en ellos. Por un lado, se pretende que se entienda con claridad el mecanismo de naturaleza general que produce el fenómeno, y que se perciba que ese mecanismo es capaz de operar de la misma manera o análoga en otros entornos y contextos. En segundo lugar, se consigue que al entender

26. «Didáctico» es el adjetivo empleado por Philippe Mongin al defender una distinción neta entre el método axiomático y la modelación como dos géneros especializados de la formalización, diferentes y contrapuestos (Mongin 2001, 134).

cómo actúa ese mecanismo en general, se capten las condiciones para que eso suceda y, por lo tanto, se puedan identificar con mayor o menor facilidad los otros casos y entornos en los que el mecanismo tenderá a actuar y se tenderán a producir efectos similares.

4.3. *Alcance de esta forma de investigación*

Sin duda, los modelos comentados, especialmente los modelos de Akerlof (1970) y Spence (1973), son ejemplos de un grado de simplificación y de irrealismo muy elevado. Hasta el punto que en su famosa clasificación de los modelos económicos, Gibbard y Varian (1978) ilustran la categoría especial de los modelos-caricatura mencionando a tres de ellos, a los que distinguen y separan de este modo de los demás modelos con propósitos descriptivos. Pero aun con estos matices, esos modelos, y especialmente los menos extremos (Rotschild y Stiglitz 1976, y Salop y Stiglitz 1977) ilustran los rasgos básicos de un modo de proceder habitual cuando se trabaja con modelos teóricos, y que, en consecuencia, se ha ido extendiendo conforme se ha ido generalizando la investigación teórica basada en la modelación. Por ejemplo, para ilustrar estos mismos rasgos, la literatura metodológica ha podido recurrir y lo ha hecho en reiteradas ocasiones a otra clase de modelos que aplican un planteamiento ampliamente utilizado, el de las generaciones solapadas, cuyo grado de simplificación y de irrealismo es también muy notorio (Gibbard y Varian 1978, 274; Hausman 1992, cap. 7; Hoover 2001*a*, 7-15; Mongin 2001, 135-136)[27]. Análogamente, los rasgos que hemos venido subrayando en relación con nuestros ejemplos coinciden en gran medida con los que P. Mongin (2001) caracteriza en general la modelación como método de in-

27. Por su parte, ya hemos aludido a la mención que Akerlof (2002, 413-414) hace de los modelos de la teoría del crecimiento en la década de los años sesenta como pioneros de este tipo de construcciones. En un sentido análogo y como ilustración del grado de simplificación habitual en la teoría del comercio internacional, puede mencionarse el importante artículo de Brander y Spencer (1983), que además, en relación con la sección siguiente, constituye un ejemplo de la aplicación de la teoría de juegos en esa rama. El objetivo del artículo es explicar la generalización de las políticas de fomento a la I+D, como un medio para fomentar las exportaciones de las empresas domésticas. Para ello, los autores construyen un modelo «basado en un juego de dos etapas entre dos empresas competidoras situadas en dos países distintos, cada una de las cuales decide en la primera fase el nivel de I+D, y en la segunda, el nivel de producción» (*ibid*., 707). En realidad, ya desde etapas anteriores, en las que no se solía hablar todavía de modelos, la norma en la teoría del comercio internacional ha sido trabajar con construcciones teóricas muy simplificadas. Véanse, por ejemplo, los comentarios de Blaug (1992, 235-237) a propósito del teorema de Heckscher-Ohlin.

vestigación teórica (diferenciado de la axiomatización), o con los que F. M. Fisher (1989) caracteriza la forma de hacer teoría que califica de «ejemplificadora», a la que reconoce haber alcanzado una difusión muy amplia[28].

5. LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE JUEGOS

La posibilidad de construir modelos aplicando la estructura de los juegos no cooperativos ha sido, por la enorme amplitud con la que ha sido aprovechada, otra fuente decisiva de influencia en el proceso de generalización del trabajo teórico basado en modelos. La aplicación de la teoría de juegos, que tardó su tiempo en llevarse a cabo masivamente[29], ha invadido los campos más diversos. Lo que no impide destacar entre los más típicos la teoría de la organización industrial y la economía de la información[30].

Aparte de los rasgos y problemas destacados en la sección precedente en relación con los modelos comentados en ella, la propia es-

28. Por ejemplo, en la presentación que hace Mongin (2001) de la modelación como método aparecen netamente destacadas características a las que nos estamos refiriendo. En concreto, dos características se desprenden de su exposición como especialmente determinantes. Por un lado, el carácter pragmático de los ejercicios de modelación, presididos por propósitos definidos, especialmente por lo que hace a las tesis que el trabajo está destinado a defender (*ibid*., 135). La segunda, el carácter persuasorio más que estrictamente inferencial de la defensa de esas tesis, que combina híbridamente argumentos formales y razonamientos informales, referidos estos últimos a las situaciones representadas por el modelo, y que dependen en parte de componentes intuitivos (*ibid*., 136). De este modo y en sus propios términos «el modelo no sirve para *probar* la tesis; sólo la *ilustra*» (*ibid*.). Otro de los rasgos distintivos de la investigación basada en modelos es el enorme esfuerzo de simplificación que suele conllevar, al servicio de su propósito «didáctico». «En segundo lugar, la modelación es un *género didáctico*: un modelo pierde todo interés si no simplifica brutalmente la descripción de los fenómenos, al reducir las variables y las relaciones que tiene en cuenta a un número muy limitado» (*ibid*.). Al final del mismo párrafo, Mongin se hace eco de la analogía que establecen Gibbard y Varian con las caricaturas. Pero con una diferencia que debe ser destacada. En lugar de estar refiriéndose a un conjunto muy delimitado de modelos, como da la impresión que sucede cuando Gibbard y Varian hablan de esa categoría de construcciones teóricas, Mongin está hablando de la construcción de modelos en general.

29. Myerson (1999) es un breve pero informativo panorama del proceso.

30. En la teoría de la organización industrial se tratan las formas de competencia imperfecta, como el monopolio y el oligopolio, por señalar las más conocidas. En general, se abordan aquellas formas de mercado en las que al tomar sus decisiones, los agentes tienen que tomar en cuenta las decisiones de los demás. Como quedó indicado en su momento, desde la presentación de la teoría de juegos en el célebre libro de von Neumann y Morgenstern (1944), la competencia imperfecta se consideró su campo de aplicación más típico y natural.

tructura de los juegos permite percibir con una claridad especial otros aspectos y cuestiones que, por otra parte, tampoco son privativos de los modelos con esa estructura.

5.1. *La doble dimensión —descriptiva y resolutiva— de las nociones de racionalidad y de equilibrio*

Para comenzar, sirva una observación rayana en la trivialidad pero de la mayor importancia en el plano filosófico y en el plano de la investigación práctica. Al igual que sucede de modo evidente con los modelos que consisten en sistemas de ecuaciones, un juego se construye para resolverlo. No tiene sentido aislar la dimensión descriptiva del modelo como si fuera la única significativa. La resolución del juego es un requisito básico. Sin ella, no es posible aportar explicaciones ni predicciones. Por eso, si un ejercicio no aporta resultados de interés, normalmente no puede aspirar siquiera a verse publicado. Sin embargo y por trivial que pueda parecer todo esto, la visión filosófica de las teorías que se centra en sus aspectos descriptivos, representacionales o semánticos tiende a dejar en un segundo término esta dimensión resolutiva e instrumental de las construcciones teóricas, cuando es una de las restricciones que condicionan más severamente la construcción de los modelos y la elección de las simplificaciones a realizar. Por eso, es también una de las restricciones comentadas más frecuentemente en las páginas metodológicas escritas por economistas dedicados a la investigación (cf. Krugman 1995, 69-71; Lucas 1980, 272; Kydland y Prescott 1996, 72-73).

Esa dimensión resolutiva, especialmente visible en los juegos no cooperativos, ilumina también la función resolutiva que la idea de equilibrio, y por ende la noción de racionalidad, desempeña en las construcciones teóricas[31]. En efecto, el equilibrio de Nash es uno en-

31. Las nociones de racionalidad (entendida como optimización o maximización) y de equilibrio están íntimamente vinculadas entre sí. La vinculación entre ambas radica en que estas últimas son las formas (matemáticas) en las que se concretan las hipótesis de comportamiento racional. Por otro lado, un concepto de equilibrio (cuando se contempla explícitamente la actuación de varios agentes) compatibiliza o articula el comportamiento simultáneo de los agentes considerados, suponiendo que satisfacen sus propios objetivos en la medida de las posibilidades que les brinda la situación. Por ejemplo, en un equilibrio competitivo de una economía de intercambio, todos los agentes maximizan su utilidad bajo la restricción presupuestaria que limita las posibilidades de compra de cada uno de ellos. En un equilibrio de Nash, cada jugador selecciona la estrategia disponible que le reporta el mayor pago al combinarla con las estrategias de equilibrio de los demás, que se toman como dadas. De esta forma, se logra asegurar que, en equilibrio, ninguno de los agentes afectados tenga incentivos para variar su conducta, salvo que se produzca una variación exógena.

tre diversos conceptos o métodos para resolver juegos no cooperativos, que se adoptó por ser un método más general, no por ser una hipótesis de comportamiento especialmente plausible ni empíricamente adecuada. Como es sabido, en estos dos últimos aspectos las cosas son más bien al revés.

Ya hemos comentado anteriormente la crítica de Simon a la racionalidad sustantiva, y hemos aludido a la evidencia procedente de los numerosos experimentos de conducta individual que han puesto en cuestión diferentes aspectos de las hipótesis de comportamiento optimizador y la idoneidad empírica de la teoría de la utilidad esperada. También el equilibrio de Nash fue sometido a experimentación desde su mismo nacimiento (Poundstone, 1992, cap. 6), y es conocido su deficiente comportamiento experimental en múltiples ocasiones (cf., por ejemplo, Kreps 1990*b*, 364, 368; Davis y Holt 1993, 507-508, y Goere y Holt 2001).

Sucede, además, que ese comportamiento experimental no sorprende porque ya en el propio terreno conceptual o teórico se admiten las dificultades e insuficiencias del concepto. Simon (1978, 9), por ejemplo, se refriere a la cuestión como el escándalo de la teoría económica. En un tono más templado, Arrow (1994, 5) considera que el problema de la toma estratégica de decisiones sigue pendiente de recibir un tratamiento adecuado. Parece que el propio Nash era escéptico a propósito de la capacidad predictiva de su propio concepto de equilibrio[32]. Brevemente, el problema es que, para poder tomar su decisión racionalmente en un entorno estratégico, un jugador debe basarse en la información sobre las decisiones que vayan a tomar los demás. Sin embargo, el equilibrio de Nash obvia este problema, limitándose a ser una condición necesaria de la conducta racional, es decir, una condición que se cumpliría si todos los jugadores se comportaran adecuadamente (Myerson 1999, 1076). En consecuencia, Kreps (1990*b*, 367-368; 1990*a*, caps. V y VI) subraya que el equilibrio de Nash es una condición necesaria para que una combinación de estrategias sea la solución de un juego si existe un modo obvio de jugarlo, o al menos un único equilibrio. Lo que significa que si ese modo obvio de jugarlo no existe, o si como es lo habitual existen múltiples equilibrios, la solución empírica o experimental de una situación de decisión estratégica puede no coincidir con ninguno de los equilibrios que haya[33].

32. Van Damme 1994, p. 847. Parece, incluso, que los problemas predictivos del concepto le habrían hecho abandonar la teoría de juegos y dedicarse a otros temas de investigación. Cf. al respecto J. K. Goeree y C. A. Holt, 2001, pp. 16 y 31.

33. En relación con las dificultades del equilibrio de Nash, pero en este caso no de sus refinamientos, podría añadirse la posibilidad de que una combinación de estra-

Por lo que hace, pues, a la dimensión descriptiva de una noción de equilibrio como la de Nash (o la de sus refinamientos, o a la de sus extensiones bayesianas en los juegos de información incompleta), esa dimensión puede ser objeto de evaluaciones adversas. Pero además de esas evaluaciones parciales, debe tenerse en cuenta que el equilibrio desempeña una función resolutiva. Y eso no sólo explica que el análisis de equilibrio sea empleado habitualmente, sino que tampoco sea fácil verlo reemplazado mientras no se disponga de otra noción que, por un lado, sea tan adecuada al menos desde un punto de vista descriptivo y experimental, y que, por el otro, sirva para resolver juegos en una medida igual o mayor y proporcione así una capacidad de comprensión y previsión por lo menos similar (Kreps 1990*a*, 136). Todo lo cual puede decirse igualmente de la racionalidad entendida como optimización y de la teoría de la utilidad esperada, que es la utilizada normalmente en la teoría de juegos, a pesar de las propuestas alternativas que se han formulado (cf., por ejemplo, Aumann 1985, 34-37; Sen 1986, 5, y Krugman 1995, 75, 77 y 78). De hecho, la evaluación a corto plazo de estas nociones colocaría un peso mayor en su rendimiento operativo que en su verdad. En cualquier caso, su empleo y su comparación con otras alternativas presupone un compromiso entre ambas dimensiones.

Tratando ahora de generalizar más allá de las aplicaciones de la teoría de juegos, las mismas consideraciones pueden hacerse extensivas al empleo de las nociones de racionalidad y de equilibrio en la teoría económica en general, incluyendo todos aquellos casos en los que el equilibrio utilizado no es de Nash. Los conceptos de racionalidad y de equilibrio son los expedientes que hacen posible obtener los resultados de prácticamente todos los ejercicios teóricos. De manera típica y como vimos que Samuelson subrayaba en los *Fundamentos*, las consecuencias que se alcanzan sobre las situaciones analizadas se obtienen determinando lo que sucede en equilibrio, o comparando lo que sucede en varios equilibrios. Esas consecuencias no se refieren a lo que pueda suceder sin más en el entorno, la situación o el modelo analizado, sino a lo que sucede en equilibrio; y se obtienen derivándolas de las condiciones de equilibrio. Por eso, en analogía con la teoría de juegos y sin temor a exagerar, se puede decir que, además de hipótesis de comportamiento, también en la teoría económica los conceptos de equilibrio son conceptos o métodos para resolver los modelos (y las propias teorías).

tegias de equilibrio incluya previsiones tan fuera de la idea de racionalidad como los casos de las amenazas increíbles (cf. Kreps 1990*b*, 382-383).

5.2. *Equilibrios múltiples e indeterminación*

Sutton (2000, 68) califica de mal endémico otro problema habitual, pero no exclusivo, del equilibrio de Nash: la existencia en un mismo juego de múltiples equilibrios en un juego, con el consiguiente problema de indeterminación que esa multiplicidad genera. ¿Cuál de los equilibrios nos dice qué es lo que sucede, si es que lo logra decir alguno? Como es sabido, líneas de investigación destacadas y conocidas, como las dedicadas a definir refinamientos del equilibrio o la atención dedicada al concepto de punto focal, responden a la necesidad de mitigar o evitar el problema, al permitir seleccionar alguno de los equilibrios que pueden coexistir en un mismo juego.

El problema puede afectar también a los modelos teóricos que no son juegos. También puede presentarse en ellos la existencia de varios equilibrios y el problema consiguiente de indeterminación (cf. Mas-Colell 1991). Con un agravante. Al no tratarse de un tipo homogéneo de modelos, el diseño de métodos de selección de equilibrios es mucho más problemático.

En general, la selección del equilibrio puede basarse en razones históricas o en las expectativas que los agentes alberguen sobre cuál sea el comportamiento que vayan a seguir los demás (Krugman 1991, 651-655). En este último caso, el comportamiento final de equilibrio termina cumpliendo las previsiones hechas por los agentes, siendo, en ese sentido, un caso de profecía autoconfirmada. Un ejemplo muy conocido de esta clase de fenómenos son las burbujas, sean financieras, que son las más corrientes, o no. De todos modos, Mas-Colell (1991, 73) sugiere que esta posibilidad, en lugar de estar relacionada esencialmente con el fenómeno de la indeterminación, sería más bien un aspecto de la noción de equilibrio:

> Todo equilibrio exhibe la simultaneidad típica de las profecías que se autocumplen. Los valores de equilibrio son de equilibrio porque son los esperados por los agentes económicos y son esperados por los agentes económicos porque son de equilibrio.

5.3. *Investigación parcelada. El riesgo de la dispersión de los resultados*

También se ha destacado en la literatura la dispersión de resultados que se ha producido en la teoría de la organización industrial, con la consiguiente dificultad a la hora de conseguir conclusiones de carácter general.

Franklin Fisher (1989) ha puesto un especial énfasis al referirse a este asunto. Distingue y contrapone dos estilos de hacer teoría en economía, a los que llama «teoría generalizadora» y «teoría ejemplificadota». Bajo esta última etiqueta sitúa el tipo de teoría al que ha dado lugar la aplicación de la teoría de juegos en el campo de la organización industrial, aunque también señala lo extendido que estaría ese tipo de investigación fuera de ese campo. Los rasgos que destaca en relación con este tipo «ejemplificador» de teoría coinciden en gran medida, ya lo indicábamos entonces, con los que presentan los modelos de la economía de la información que hemos tenido ocasión de comentar en la sección anterior. En especial, subraya que los modelos empleados en ella, lejos de perseguir un objetivo de generalidad como el que anima, por ejemplo, la teoría de la demanda o la teoría del equilibrio general, lo que se proponen es reconstruir o representar situaciones o tipos de casos específicos, particulares, a diferencia del objetivo de generalidad que anima, por ejemplo, la teoría de la demanda o la teoría del equilibrio general. Lo que, según él, habría conducido a la dispersión de resultados diversos y difícilmente conciliables. Así, habla de la teoría del oligopolio como una colección de un gran número de historias describiendo cada una de ellas lo que sucede en una situación particular. Pero, y éste es el núcleo de su denuncia, lo que se desprende de esa colección de ejercicios es que pueden ocurrir muchas cosas, sin que haya una teoría general que unifique esos resultados dispersos, estableciendo cómo dependan del contexto, ni de qué factores o variables concretas lo hagan.

En un sentido parecido, Mongin (2001, 137-138) subraya el riesgo de dispersión como un riesgo al que hace frente en general la investigación basada en la construcción y el análisis de modelos, y destaca también cómo ese riesgo ha cobrado cuerpo especialmente en el campo de la organización industrial.

Sutton (2000) propone un diagnóstico más refinado y más radical del problema. Subraya que la diversidad de resultados en ese campo puede deberse a la intervención de factores diferentes que pueden presentarse de forma muy diversa y que, en cualquier caso, pueden resultar especialmente difíciles o imposibles de detectar y de medir, como las diferentes formas en las que puede tener lugar la competencia en precios entre las empresas, o las diferentes formas en las que las empresas pueden entrar un mercado, o las diversas maneras en las que las empresas condicionan sus decisiones de entrada a las decisiones de las demás (*ibid.*, 68). En este caso, la dificultad estriba en que hay muchos modelos «razonables» (*ibid.*, 70) y, al no poderse detectar ni medir los diversos factores que influyen significativamente en

el resultado, el problema de la selección entre esos modelos razonables puede no tener solución (*ibid.*, 33). En virtud de todo ello, propone construir modelos de un tipo más general y en los que se aspira a obtener conclusiones menos precisas, presentando como ejemplo una contribución suya sobre la relación entre los determinantes del nivel de concentración industrial en un mercado (*ibid.*, 70-81).

5.4. *La economía del diseño*

Hace unos años, ante la inminencia de la tercera generación de teléfonos celulares, era bastante corriente que un gobierno concediera mediante subastas diseñadas *ad hoc* las concesiones para utilizar el espacio radioeléctrico. La práctica se hizo especialmente célebre por los ingresos que este sistema proporcionaba a los gobiernos, muy superiores a los que les proporcionaban otros sistemas más tradicionales de concesión. Especialmente famosa fue la subasta celebrada en los Estados Unidos en 1995, en cuyo diseño participaron economistas reconocidos como especialistas muy destacados en la teoría de las subastas, teoría que constituye una de las aplicaciones principales de la teoría de juegos (cf. Sutton 2000, 56-57; Myerson 1999, 1078-1079)[34].

El diseño de subastas es seguramente el ejemplo más familiar de esta forma relativamente nueva de entender y de aplicar la teoría económica, que recibe a veces el nombre de «economía del diseño», y que se extiende a las aplicaciones prácticas de otras ramas teóricas, como la teoría de los contratos en condiciones de información asimétrica o la teoría de los seguros, por poner otros dos ejemplos. En el plano de la alta teoría, el diseño como tal tomó carta de naturaleza en relación con el diseño de mecanismos para la provisión de bienes públicos y la toma de decisiones públicas, y como respuesta a los incentivos que los agentes afectados pueden tener para revelar información errónea sobre los aspectos pertinentes de su situación como, por ejemplo, sus necesidades, sus derechos, sus propósitos o su situación económica (cf., por ejemplo, Barberá 1984, secc. 4).

Tradicionalmente, la economía normativa estaba orientada hacia el bienestar social, siendo por lo tanto su núcleo la economía del bienestar. La economía del diseño representa una nueva modalidad de economía prescriptiva, en la no se presupone ni favorece como norma general que los objetivos cuya satisfacción se trate de optimizar en cada caso sean beneficios públicos o sociales, o sean por el contrario intereses de carácter privado, como ocurriría si el problema analizado

34. Milgrom (1989) es un panorama introductorio a la teoría de las subastas.

fuera el de una empresa o el de un particular que tratara de vender algo o que tratara de contratar los servicios de alguna otra persona.

Por otro lado, este tipo de aplicación pone de manifiesto la dualidad con la que esta clase de teorías puede leerse, interpretarse y aplicarse. La teoría de las subastas, por ejemplo, nos permite entender por qué cierta clase de subasta es la utilizada normalmente en ciertos ámbitos, y nos permite también recomendar otro tipo de subasta para cierto tipo de problemas. En general, esto es lo que sucede con todas aquellas ramas teóricas, sean matemáticas o económicas, que presuponen a los agentes un comportamiento racional u optimizador, como la teoría de juegos, la teoría de la utilidad esperada, y muchas partes de la propia teoría microeconómica. Pueden aplicarse para tratar de explicar por qué hacen los agentes lo que hacen, y pueden servir igualmente para recomendar qué pueda hacerse si se intenta optimizar ciertos propósitos, intereses u objetivos[35].

6. LA NUEVA ECONOMÍA CLÁSICA, UNA NUEVA LLAMADA AL INDIVIDUALISMO METODOLÓGICO

Por las fechas en las que Gibbard y Varian (1978) publicaban su conocido artículo sobre los modelos económicos, estaba en pleno desarrollo el enfoque teórico conocido como la nueva economía clásica, o como la revolución o la escuela de las expectativas racionales. Su principal inspirador, Robert Lucas, Jr., es uno de los autores que han ejercido una influencia mayor en la evolución del pensamiento económico del último tercio del siglo XX[36]. Sin embargo, los modelos propugnados por este enfoque, y sobre todo los construidos en una de sus corrientes más destacadas, la teoría de los ciclos reales, liderada por Edward C. Prescott, no encajan bien en la clasificación de los modelos que Gibbard y Varian (1978) proponen[37].

El objetivo principal de la nueva economía clásica es ofrecer respuestas cuantitativas sobre las consecuencias previsibles de políticas

35. Ante los problemas empíricos y experimentales de las nociones y teorías de racionalidad y de equilibrio, la posibilidad de leerlas y entenderlas dualmente da pie a veces a huir del problema o a montar su defensa subrayando su dimensión prescriptiva como la principal o, incluso, como la única.

36. Cf. Hoover 2001*a*, 59-60. Krugman (1995), en sus capítulos primero y octavo, proporciona una introducción divulgadora del proceso. Miller (1994) es una recopilación panorámica de artículos destacados del enfoque.

37. Estando en prensa este volumen, Edward Prescott y Finn Kydland recibieron el premio Nobel de Economía de 2004.

alternativas, para poder así evaluar esas políticas y seleccionar las que contribuyan en mayor medida al bienestar social (Lucas 1980, 271, 288; 1987, 30; Lucas y Sargent 1979, 28; Kydland y Prescott 1991, 161-164, 176; 1996, 69, 84). Este objetivo fue también uno de los propósitos que animaron la construcción de los modelos econométricos de inspiración keynesiana. Sin embargo, comparados con éstos y a pesar de la complejidad del aparato matemático y estadístico con el que están formulados, los modelos de los ciclos reales exhiben una estructura conceptual que, por su sencillez y falta de realismo, está más cerca de la que describen Gibbard y Varian (1978) en relación con los modelos-caricatura. Pero por otra parte, al ser modelos cuantitativos aplicados, son muy diferentes de estos últimos, que, recuérdese, distorsionan la realidad precisamente porque no están destinados a ser aplicados a casos empíricos concretos[38].

6.1. *Las economías-modelo de la nueva economía clásica. Algunas razones para simplificar*

En la nueva economía clásica es un lugar común, reiterado una vez tras otra, que dada la inviabilidad de llevar a cabo con las economías reales los experimentos que serían necesarios para poder anticipar las consecuencias de políticas alternativas, la teoría tiene que valerse de modelos, de economías-modelo, de economías paralelas, mecánicas, artificiales, que vienen a desempeñar el papel de laboratorios con los que realizar las simulaciones correspondientes (cf., por ejemplo, Lucas 1980, 288; 1987, 30; Kydland y Prescott 1991, 170-171; 1996, 69, 84; Cooley y Prescott 1995, 1, 4, 5). Con todos estos calificativos y expresiones se pretende subrayar con el mayor énfasis que, por un lado, el modelo, que es el objeto sobre el que recae directamente el análisis técnico o científico, y por el otro la economía real cuyo comportamiento es lo que en el ejercicio se trata de prever, son entidades distintas, de naturaleza distinta, y cuya configuración y comportamiento presentarán por lo general aspectos y rasgos diferentes.

También es un lugar común en el enfoque que, dada la complejidad de cualquier economía real, cualquier modelo que aspire a ser manejable y esté además suficientemente articulado para ofrecer res-

38. Para apreciar más directamente la sencillez de la estructura conceptual de los modelos de ciclos reales, puede verse la presentación general que hacen Kydland y Prescott (1996, 76). Lucas (1987, 50 y 52) presenta el modelo sobre el origen de los ciclos de Kydland y Prescott de forma que puede apreciarse su sencillez sin entrar en los detalles formales, y Cooley y Prescott (1995) hacen una presentación rigurosa de los modelos de este tipo.

puestas cuantitativas claras a las cuestiones que debe abordar, incluirá simplificaciones y suposiciones tan forzadas que lo convertirán en una construcción artificial, abstracta, abiertamente falsa y patentemente falta de realismo (Lucas 1980, 271; 1987, 50-52, 59; Kydland y Prescott 1991, 170)[39]. Hasta el punto de que, según Lucas (1980, 271), «la insistencia sobre el realismo de un modelo económico puede subvertir su utilidad potencial para pensar sobre la realidad».

Consecuentemente, Kydland y Prescott (1991, 170, 174-175) sostienen que, al contrario de lo que sucede con el planteamiento econométrico de la estimación y selección de modelos, no se selecciona el modelo que mejor se ajuste a los datos, porque «no se pretende seleccionar el modelo verdadero», ya que «todas las economías-modelo son abstracciones y falsas por definición». La propia defensa de la calibración, que es el procedimiento que se utiliza en la nueva economía clásica para atribuir valores numéricos a los parámetros en lugar de su estimación, se apoya en parte en la propia falsedad de los modelos, por causa de la cual el ajuste con las series de datos de la economía puede perder sentido (Miller 1994, 260).

Entre los motivos de las simplificaciones que hay que realizar al construir los modelos, en esta literatura suele enfatizarse también que, como sucede en general con todo tipo de modelos, uno de los problemas de su diseño es lograr un compromiso entre el nivel de detalle de su formulación, por un lado, y las posibilidades de resolverlo, por el otro (Kydland y Prescott 1996, 72-73). En virtud del carácter abiertamente instrumental que tienen los modelos en este enfoque, sucede quizá más claramente que en otros casos que si no pueden resolverse, resultan completamente inútiles. Debe tenerse en cuenta, además, que resolver el modelo o el equilibrio es un problema especialmente exigente en el caso de los modelos de la nueva economía clásica. Por un lado, y como ha quedado apuntado ya, las respuestas que deben ofrecer los modelos deben ser cuantitativas, no basta con teoremas descriptivos sobre lo que suceda en equilibrio, ni con conclusiones cualitativas de estática comparativa. Pero tampoco esa cuantificación es todo lo que se exige. Lo que el equilibrio debe proporcionar son series temporales de las variables relevantes (producto, empleo, inversión, precios y salarios, por ejemplo) que puedan luego compararse con las series temporales de los datos estadísticos disponibles sobre esas variables, o con estadísticos que resuman esas series (Lucas

39. Nótese que, al tratarse de modelos aplicados cada uno de ellos a una economía determinada, pueden ser calificados, en sentido literal, como verdaderos o falsos, a diferencia de lo que sucede con los modelos no aplicados.

1987, 50; Kydland y Prescott 1996, 70, 75-76). En general, estos autores consideran la disponibilidad de las técnicas adecuadas (matemáticas y teóricas) y su desarrollo como uno de los dos factores básicos del desarrollo de la teoría económica (Lucas 1980, 272, 283-287, 286; 1987, 15-17; Kydland y Prescott 1991, 166-167; 1996, 78)[40].

Otro punto en el que insisten sobre todo Kydland y Prescott (1991, 169, 172; 1996, 70, 73, 78) es la importancia de que el modelo se diseñe en función de una cuestión precisa y bien definida, a la que, mediante el desarrollo del ejercicio, se trata de encontrar una respuesta también precisa. Dando por sentado que un modelo incorpora necesariamente múltiples simplificaciones, sostienen que la elección apropiada de las simplificaciones a incorporar en un ejercicio concreto depende en parte de la cuestión que se aborde en él (Lucas 1980, 272; Kydland y Prescott 1996, 72, 78). Con una consecuencia que merece ser destacada. Aunque dos modelos estén referidos a una misma economía y a una misma serie de periodos, si abordan cuestiones diferentes pueden incorporar simplificaciones diferentes, apropiadas en cada caso a la cuestión estudiada, pero que pueden llegar a hacer a los modelos incompatibles entre sí (Kydland y Prescott, *ibid.*).

Debe añadirse que las cuestiones abordadas en estos ejercicios suelen demandar respuestas con la forma de condicionales subjuntivos o, incluso, contrafácticos. Una simulación para anticipar las consecuencias que traería consigo la implantación de una política determinada trata de lograr una respuesta de la forma de un condicional subjuntivo: «si tal política fuera implantada, se derivarían tales y tales consecuencias». Pero el tipo de respuestas en el que están pensando Kydland y Prescott es más extenso e incluye preguntas abiertamente contrafácticas, como la que ellos mismos se plantearon al construir su modelo sobre el origen de las fluctuaciones cíclicas: «Cuánto habría fluctuado la economía estadounidense posterior a la segunda guerra si las perturbaciones tecnológicas hubieran sido la única fuente de esas fluctuaciones». Dado el carácter de la pregunta y el tipo de respuesta que el modelo debe proporcionar, puede ocurrir que éste tenga que desviarse de la realidad precisamente por estar formulado bajo unas condiciones expresamente alejadas de las reales (Kydland y Prescott 1991, 169, 175; 1996, 74-75, 78).

40. El otro factor lo constituyen los cambios registrados en el mundo real, por la incidencia que pueden tener en el cambio de las cuestiones que se van abordando en las diferentes fases (Lucas 1980, 276, 281-282).

6.2. *La microfundamentación de la macroeconomía. El agente representativo*

En virtud del énfasis que se hace en esta escuela en la distancia y las diferencias entre las economías reales y las economías-modelo, cobran especial relieve el problema de cómo seleccionar el modelo más adecuado en cada caso y la cuestión de la confianza que podamos depositar en la extrapolación a la economía real de las conclusiones del análisis que se realiza sobre la economía-modelo (Lucas 1980, 288). En relación con ello, uno de los rasgos más característicos del enfoque es el peso concedido a la fundamentación teórica sobre la que deben descansar los modelos. La idea es que la confianza que pueda depositarse en las respuestas proporcionadas por una economía-modelo depende en gran medida de haber empleado en su construcción una teoría adecuada, de rendimiento bien comprobado, bien establecida (Kydland y Prescott 1996, 72), entendiéndose por teoría no un conjunto de afirmaciones sobre el mundo, sino un conjunto de instrucciones explícitas para construir economías-modelo (Lucas 1980, 272; Kydland y Prescott 1996, 72, 83)[41]. Pues bien, esa exigencia de fundamentación teórica se convierte en otra fuente importante de idealizaciones y simplificaciones.

En la corriente de los ciclos reales, por ejemplo, esa fundamentación incluye la exigencia de basar los modelos en la teoría neoclásica del crecimiento, hasta el punto de considerarse que «los modelos modernos de los ciclos económicos son versiones estocásticas» de dicha teoría (Kydland y Prescott 1996, 72). El modelo más representativo de esta teoría es el de Solow, que es una conocida construcción teórica muy simplificada, cuyo eje es la función de producción agregada, y que fue construido tratando de que reprodujera las regularidades

41. Como es natural, no basta con esa fundamentación teórica para que un modelo inspire suficiente confianza. El modelo debe especificarse y calibrarse de manera que se reproduzcan, se «imiten» como suele decirse en esta literatura, aspectos relevantes del comportamiento de la economía modelada. Esa capacidad de «imitación», a su vez, puede comprobarse sometiendo el modelo a impactos en relación con los cuales sepamos cómo reaccionan las economías reales (Lucas 1980, 272; 1987, 50). A su vez, el proceso de contrastación empírica de los modelos con los datos estadísticos es una de las fases de estos ejercicios. Al tratar de reproducir las regularidades exhibidas por esos datos, pueden surgir problemas que pongan de relieve la necesidad de revisar los modelos, y que sugieran cómo hacerlo. De todos modos, el peso atribuido a la fundamentación teórica de los modelos es superior al que se suele reconocer en términos explícitos en otras escuelas y tradiciones. En otro orden de ideas, la idea de imitación empleada por Lucas parece ser la propuesta en Herbert Simon (1969), libro al que el propio Lucas (1980, 292) se refiere como precedente de su concepción de los modelos.

empíricas que Nicholas Kaldor había detectado y bautizado como hechos estilizados relativos al crecimiento económico (Kydland y Prescott 1991, 167; Cooley y Prescott 1995, 3-4). El resultado es realmente llamativo. Se trata de un modelo realmente muy sencillo, que reproduce la mayor parte de esos hechos estilizados, y que exhibe un comportamiento empírico envidiable sobre los factores determinantes del crecimiento (cf. Jones 1998).

Desde la perspectiva de la nueva economía clásica, un problema fundamental de planteamiento en la teoría neoclásica es que ésta separa el crecimiento de las fluctuaciones cíclicas. La nueva escuela propugna que, por el contrario, «el crecimiento y las fluctuaciones no son fenómenos distintos que quepa estudiar por separado y con herramientas analíticas diferentes» (Cooley y Prescott 1995, 4). Además, se disponía desde hacía tiempo de evidencia suficiente sobre las regularidades y las semejanzas que exhiben los ciclos económicos, evidencia debida sobre todo a la labor de Arthur F. Burns y Wesley C. Mitchell (Lucas 1976, 10; 1980, 274; Cooley y Prescott 1995, 26). De este modo, los modelos de los ciclos reales, a semejanza o inspirados en el modelo neoclásico de Solow, tratan de reproducir a la vez los hechos estilizados del crecimiento y las regularidades exhibidas por las fluctuaciones cíclicas, adoptando para ello como punto de partida ese modelo o alguna variante suya.

Al adoptar como teoría subyacente la neoclásica del crecimiento, los modelos de los ciclos reales heredan la posibilidad de estar formulados mediante una serie muy limitada de elementos. Por ejemplo, Kydland y Prescott (1996, 77-78) exponen la versión básica de los modelos de los ciclos reales enumerando las cinco relaciones siguientes: la función de producción agregada, la ley del movimiento o ecuación de acumulación del capital (cómo cambia éste de periodo en periodo por la depreciación y la inversión), la ecuación que describe de la tecnología, la especificación de las preferencias de los consumidores y el concepto de equilibrio competitivo. Además, cada uno de estos elementos incorpora habitualmente simplificaciones o idealizaciones muy notorias. Por ejemplo, al incorporarse la función de producción agregada se está suponiendo que la producción total depende, de manera estable y de acuerdo con una única relación funcional, del stock total de capital en esa economía, de todo el trabajo utilizado y del nivel tecnológico que se supone que ha alcanzado el sistema productivo, que se representa como un simple coeficiente, que evoluciona de una manera exógena[42]. Además, en modelos como el de

42. Desde la perspectiva de la teoría de la agregación, una función así es suscep-

Kydland y Prescott, al igual que en el de Solow, los rendimientos a escala son constantes (Kydland y Prescott 1996, 72, 77-78; Cooley y Prescott 1995, 3-4). Asimismo y como ya hemos reiterado, el tipo de equilibrio supuesto es el competitivo. Sobre la especificación de las preferencias de los consumidores, volvemos más abajo.

En el marco más general de la nueva economía clásica, el núcleo de las instrucciones de la escuela de las expectativas racionales es una nueva llamada al individualismo metodológico, que el propio Lucas (1976, 7) vincula con las indicaciones de un autor tan destacado en la elaboración de esta doctrina como F. Hayek, que suele conocerse como la exigencia de fundamentar microeconómicamente la macroeconomía, y que se traduce en el requisito de adoptar explícitamente como núcleo de cualquier modelo los objetivos y las decisiones de los agentes individuales.

Con la fundamentación microeconómica se pretende evitar lo que, a los ojos de estos autores, es la arbitrariedad y la falta de justificación suficiente que rodearían habitualmente a las hipótesis de comportamiento agregado o colectivo en los modelos de inspiración keynesiana por no estar explícitamente fundamentadas en el comportamiento optimizador de los agentes individuales (Lucas 1976, 8; Lucas y Sargent 1979, 10-11). Estas mismas ideas están en la base la famosa y muy influyente crítica de Robert Lucas al planteamiento de los modelos macroeconométricos por presuponer la invariancia de su estructura[43]. El blanco de esta crítica es la suposición de que los valores (verdaderos) de los parámetros de las ecuaciones que componen un modelo macroeconométrico de inspiración keynesiana, y por lo tanto las relaciones funcionales descritas en esas ecuaciones, son estables, permanentes, y no varían aunque varíen las políticas económicas emprendidas por el gobierno. En contra de esa suposición, Lucas aduce que, por ejemplo, las funciones de consumo e inversión pueden variar ante el anuncio de cambios en la política fiscal, porque una vez que los consumidores y las empresas formen sus expectativas acerca de los efectos que esos cambios pueden tener sobre sus disponibilidades financieras presentes y futuras, tratarán de ajustar su comportamiento de consumo o de inversión a ese nuevo escenario y, en consecuencia,

tible de ser criticada por razones análogas a las que A. Kirman y K. Hoover emplean para criticar al agente representativo (ver la nota 45, más abajo). Por otra parte, la función de producción agregada fue uno de los principales objetos de crítica por una de las partes en otra famosa polémica, que versó sobre la medición del capital (cf. Blaug 1992, cap. 10, o Cohen y Harcourt 2003).

43. En esa crítica también se esgrimen argumentos empíricos (cf. Lucas y Sargent 1979, 13).

puede suceder que cambien las relaciones supuestas en esas funciones agregadas (Lucas 1987, 22-31; Lucas y Sargent 1979, 6-12)[44].

Pero la propia exigencia de basar explícitamente cualquier modelo en las decisiones de los agentes individuales conduce a decisiones para simplificarlo de manera importante. Por ejemplo, de acuerdo con esa exigencia el mecanismo por el que se determinan el producto, el empleo, la inversión y los precios, y por lo tanto el mecanismo por el que se determinan el funcionamiento y la evolución de la economía, debe derivarse explícitamente de las decisiones adoptadas racionalmente por los agentes. Pero como éstos no están aislados e interactúan entre ellos, esa instrucción se convierte, a su vez, en el requisito de que el mecanismo de asignación incorporado en el modelo sea un concepto de equilibrio general (frecuentemente dinámico y estocástico), que habitualmente es el equilibrio competitivo (Lucas y Sargent 1979, 15-16; Lucas 1980, 289-290; Kydland y Prescott 1991, 168). Por eso, a los modelos de este enfoque suele conocérseles también como modelos de equilibrio general, en los que se supone que los mercados se vacían y que todos los agentes tratan de satisfacer al máximo su propio interés (Lucas y Sargent 1979, 15)[45].

Asimismo, en cualquier economía los agentes individuales son muchos y muy diversos, de manera que construir un modelo con un equilibrio general competitivo resoluble cuantitativamente puede requerir simplificaciones drásticas sobre la homogeneidad de los agentes. De ahí que, durante una larga etapa, en la mayoría de los modelos del enfoque se postulara que los consumidores son todos iguales, adoptándose suposiciones o expedientes equivalentes en relación con las empresas (cf., por ejemplo, Hoover 2001*a*, 65; Kydland y Prescott 1996, 76; Lucas 1987, 50 y 52; y Cooley y Prescott 1995). De esa manera, el análisis del modelo podía concentrarse en un solo agente típico o representativo de cada grupo, cosa que sucedía en la gran mayoría de los ejercicios de la escuela[46]. Debe puntualizarse a este respecto que la propia investigación ha ido abriendo vías para acomodar en los modelos la heterogeneidad de los agentes (Kydland y Prescott 1996, 79).

44. Miller (1994, xiv) expone el tema con claridad y brevedad.

45. Sobre los objetivos sustantivos con los que están vinculados estos requisitos metodológicos, puede verse Lucas (1976) o Lucas y Sargent (1979).

46. En la estela de Kirman (1992) y a la luz de la teoría de la agregación, Kevin Hoover (2001*a* y *b*) formula una severa crítica del programa de microfundamentación de la macroeconomía inspirado por Robert Lucas, calificándolo de simulacro por basarse en un agente, el representativo, que es ficticio. Hausman (2003) contiene un resumen de las tesis de Hoover.

Sobre esa misma idea de fundamentación se monta también la defensa de la hipótesis de las expectativas racionales, muy característica de la escuela, que se sitúa en las antípodas de la noción de la racionalidad acotada de Simon y que, en ese sentido, puede considerarse una idealización[47]. La hipótesis supone en líneas generales que todos los agentes hacen el mejor uso posible de la información limitada de la que disponen y que conocen las distribuciones de probabilidad pertinentes (Lucas y Sargent 1979, 17). Dicho de otra manera, las expectativas de los agentes coinciden con las predicciones óptimas que pueden hacerse con el modelo. La razón que se alega para postularla es la coherencia con el comportamiento optimizador que en el propio modelo se supone que siguen los agentes, a quienes, por lo tanto, no sería coherente suponer miopes en la formación de sus previsiones o dispuestos a equivocarse una vez tras otra por no formarlas de la mejor manera que les resulta posible (Lucas y Sargent 1979, 11)[48]. Debe advertirse, sin embargo, que de estos argumentos no se desprende que la formación de las expectativas tenga que ser precisamente la que la hipótesis supone.

6.3. *De nuevo, el trasfondo político de la discusión teórica en macroeconomía*

Cuando, en la sección segunda, comentábamos el conflicto teórico planteado por la propuesta del neocuantitativismo por parte de Friedman, llamábamos la atención sobre el trasfondo político del episodio. Análogamente, antes de cerrar esta sección debemos dejar por lo menos apuntado que la reorientación teórica propuesta por la nueva

47. Krugman (1994, 55-60, 207-208, 213-216) ilustra de modo muy expresivo lo que la hipótesis supone por lo que hace a la formación de las previsiones de las empresas y de la gente en su vida corriente, y hace una evaluación muy crítica sobre su realismo.

48. Al hacer coincidir las expectativas de los agentes con las predicciones óptimas que pueden hacerse con el modelo, la hipótesis constituye otro ejemplo de profecías que se autocumplen. De todos modos, el propio Lucas advierte que la forma concreta que adopte la hipótesis en un modelo específico depende de la forma y las características de éste (Lucas 1987, 27, nota 5). Marcet (1991) expone el concepto de las expectativas racionales de una manera clara y sencilla.

La idea de las expectativas racionales fue formulada originalmente por John Muth un decenio antes en un contexto microeconómico (Sheffrin 1983, 1-11). Curiosamente, y como Sheffrin subraya, cuando hicieron sus conocidas propuestas de sentido tan contrario —Simon sobre la racionalidad acotada y procedimental, y Muth sobre las expectivas racionales— Simon y Muth eran colegas en la misma universidad, la Carnegie-Mellon. Además, por aquellas fechas colaboraron en un libro sobre gestión de la producción y de las existencias, junto con Charles Holt y Franco Modigliani.

economía clásica no es políticamente inocua. Al formar los agentes sus expectativas de manera óptima (y conocer todas las distribuciones de probabilidad pertinentes), el gobierno no puede desarrollar una política anticíclica activa y sistemática como la que se desprende del planteamiento keynesiano, porque los agentes terminarán anticipándola y evitando sus pretendidos efectos, salvo que la existencia de rigideces nominales les impidan evitarlos, como la literatura reciente ha comenzado a poner de relieve. Además, los equilibrios habitualmente son óptimos paretianos, por lo que las intervenciones no pueden conseguir ninguna mejora en el bienestar social. De esta manera y al decir de sus protagonistas, la nueva teoría mantiene la tradición clásica no sólo porque adopta los postulados clásicos de que los agentes optimizan sus intereses y de que los mercados se vacían, sino también por el sentido de sus implicaciones sobre la política económica, sentido que es básicamente contrario a una concepción intervencionista (Lucas y Sargent, 1979: 18)[49].

7. RESUMEN

En las secciones precedentes hemos tratado de comparar los aspectos metodológicos más sobresalientes asociados con varias formas de concebir en economía la investigación teórica y sus construcciones. Para ello, en la sección segunda nos ocupamos principalmente y como punto de partida de la concepción de la teoría económica que presenta Samuelson en su libro *Fundamentos del análisis económico*. Subrayamos su defensa de la necesidad de derivar teoremas operacionalmente significativos, y la semejanza que su concepción guarda, a grandes rasgos, con la visión de las teorías científicas como sistemas hipotético-deductivos. Esa semejanza proporciona un relieve mayor a las cualificaciones formuladas por Milton Friedman y por Herbert Simon, que también comentábamos, motivadas en ambos casos por la falta de realismo de la teoría. También hacíamos referencia a los grandes modelos macroeconométricos desarrollados por la época, señalando cómo los nuevos métodos econométricos de control empírico se mostraron incapaces de resolver el conflicto teórico que planteó la propuesta neocuantitativista de Friedman, a pesar de que, aparentemente al menos, se planteaba en los términos más favorables para ser resuelto mediante expedientes de esa naturaleza.

49. Lucas (1987, 31-32, 119-123) y Lucas y Sargent (1979, 28) matizan su posición en torno al tipo de política que consideran correcto o inadecuado.

En la sección tercera comparamos los dos teoremas principales de la teoría del equilibrio general con los teoremas operacionalmente significativos propugnados por Samuelson. De esa comparación destacamos: 1) que los teoremas examinados de equilibrio general se refieren a cuestiones mucho más abstractas y de naturaleza más conceptual que los fenómenos y regularidades de los que habla, por ejemplo, la teoría de la demanda; 2) que son formalmente válidos y no tiene sentido contrastarlos empíricamente; 3) y que no son aplicables directamente a las economías reales porque las economías artificiales de las que hablan están lejos de tener contrapartidas empíricas razonablemente aproximadas; 4) favoreciéndose que las economías de las que hablan esos teoremas y cumplen las condiciones que en ellos se postulan, sean consideradas como ideales de referencia. Aunque de manera muy breve, también tuvimos ocasión de comentar la proporción que absorbe en economía la investigación teórica pura, y las consecuencias que ha tenido en economía normativa la aplicación del método axiomático empleado en la teoría del equilibrio general. Todo ello nos ha permitido advertir mejor la variedad de los temas abordados por la teoría, entre los que se incluyen cuestiones referentes a las propias construcciones teóricas.

La sección cuarta es central en el trabajo, porque tiene como objeto ilustrar algunos rasgos distintivos de la construcción de modelos teóricos tal como se entiende esta tarea en la actualidad. Para ello, comentábamos en ella, en comparación con las variedades teóricas presentadas en las dos secciones precedentes, algunos modelos pioneros en la economía de la información que, al presentar esos rasgos de manera muy acusada, pueden ilustrarlos con especial claridad. En los casos analizados, el modelo recrea o representa un entorno sustancialmente simplificado, justificado por su especial capacidad para ilustrar el fenómeno estudiado, y con aspectos y partes deliberada y claramente carentes de realismo. De su análisis se obtiene la demostración de que en ese entorno supuesto sucede cierto fenómeno. Con todo ello se pretende ilustrar y apoyar la idea de que ese fenómeno tiende a producirse, en la misma o en alguna forma similar, en entornos, teóricos o empíricos, en los que las condiciones postuladas en el modelo están, por lo general, lejos de cumplirse. Por lo que se plantea esencialmente el mismo problema inferencial o argumental que Sugden destaca, y sobre cuya interpretación comentábamos algunas posibilidades.

La masiva aplicación de la teoría de juegos, que ha constituido uno de los impulsos decisivos en la generalización de la investigación teórica basada en modelos, nos servía de pretexto para comentar en la sección quinta otros aspectos de estas construcciones. Resaltábamos,

sobre todo, la función resolutiva de la noción de equilibrio, especialmente visible en la teoría de juegos. Comentábamos, asimismo, la indeterminación que crea la existencia de equilibrios múltiples, que es un aspecto también muy visible del equilibrio de Nash, y la dispersión de resultados que ha afectado significativamente a la teoría de la organización industrial. Por último, aludíamos a las aplicaciones prácticas de la teoría englobadas bajo la idea del diseño, subrayábamos sus diferencias en orientación con la tradición en economía normativa, y recordábamos la posibilidad de interpretar alternativamente en un sentido asertivo y en un sentido prescriptivo las teorías que, como la de juegos, la de la utilidad esperada y muchas partes de la microeconomía, postulan un comportamiento maximizador u optimizador por parte de los agentes.

Finalmente, en la sección sexta nos hemos ocupado de la nueva economía clásica y de los modelos de la corriente de los ciclos reales. Como los macroeconométricos de inspiración keynesiana, son modelos cuantitativos aplicados que, sin embargo, sus mismos proponentes manejan como modelos artificiales muy simplificados y, en consecuencia, abiertamente falsos en relación con las economías cuyo comportamiento tratan de reproducir. Entre los elementos que originan y condicionan esas simplificaciones hemos documentado cómo se subrayan en el enfoque las restricciones impuestas por la disponibilidad de las técnicas teóricas y formales de conceptualización, de planteamiento y de cálculo, y las restricciones derivadas de la pregunta en función de la cual está construido cada modelo. Subrayábamos, asimismo, que el peso que se atribuye de un modo característico en este enfoque a la fundamentación teórica de los modelos es otra fuente importante de simplificaciones y de idealización. Así, hemos comentado la adaptación del modelo neoclásico de crecimiento en los modelos de los ciclos reales, la hipótesis de las expectativas racionales y el recurso al agente representativo, consecuencia este último de la apelación al individualismo metodológico inserta en la defensa de la fundamentación microeconómica de la macroeconomía. Finalmente, hemos recordado el trasfondo político de la discusión teórica en macroeconomía, reavivada con la irrupción en escena de la nueva economía clásica.

Más que conclusiones, este trabajo está orientado a sugerir preguntas. De todos modos, es difícil evitar la impresión de que las construcciones teóricas que produce la investigación en economía se consideran cada vez más abiertamente no tanto como depositarias del conocimiento acumulado como se suponía tradicionalmente que eran las teorías, sino como instrumentos para conseguirlo.

BIBLIOGRAFÍA

Akerlof, G. A. (1970), «The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism»: *Quarterly Journal of Economics* 84, 488-500.

Akerlof, G. A. (2002), «Behavioral Macroeconomics and Macroeconomic Behavior»: *American Economic Review* 92 (3), 412- 433.

Akerlof, G. A. y Yellen, J. L. (1985*a*), «A near-rational model of the business cycle, with wage and price inertia»: *Quarterly Journal of Economics* 100 (Suplemento), 823-838.

Akerlof, G. A. y Yellen, J. L. (1985*b*), «Can Small Deviations from Rationality Make Significant Differences to Economic Equilibria?»: *American Economic Review* 75 (4), 708-720.

Arrow, K. J. (1974), «General Economic Equilibrium: Purpose, Analytic Techniques, Collective Choice»: *American Economic Review* 64 (3), 253-272.

Arrow, K. J. (1994), «Methodological Individualism and Social Knowledge»: *American Economic Review (Papers and Proceedings)* 84 (2), 3-9.

Arrow, K. J. y Debreu, G. (1954), «Existence of an equilibrium for a competitive economy»: *Econometrica* 22 (3), 265-290.

Arrow, K. J. y Hahn, F. H. (1971), *General Competitive Analysis*, Holden-Day, San Francisco.

Aumann, R. J. (1985), «What is Game Theory Trying to Accomplish?», en J. A. Kenneth y S. Honkaphoja (eds.), *Frontiers of Economics*, Blackwell, Oxford, 1985, 28-91.

Barberá, S. (1984), «Teoría de la elección social: algunas líneas de desarrollo»: *Hacienda Pública Española* 91, 221-243.

Barberá, S. y García-Bermejo, J. C. (1977), «Prohibiciones metodológicas y economía del bienestar»: *Cuadernos Económicos de ICE* 3-4, 146-165.

Benetti, C. (1997), «La méthode normative de la théorie économique positive», en H. Brochier *et al.* (eds.), *L'Économie normative*, Economica, Paris, 1997, 89-98.

Binmore, K. (1987), «Modeling Rational Players I»: *Economics and Philosophy* 3, 179-214.

Binmore, K. (1988), «Modeling Rational Players II»: *Economics and Philosophy* 4, 9-55.

Binmore, K. (1992), *Fun and Games. A Text on Game Theory*, D. C. Heath and Company, Lexington (Mass.). (Versión castellana: *Teoría de Juegos*, McGraw-Hill/Intermericana de España, Madrid, 1994.)

Blaug, M. (1992), *The methodology of economics: or how economists explain*, Cambridge University Press, Cambridge. (Las citas están tomadas de la versión castellana de la primera edición: *La metodología de la economía*, Alianza, Madrid, 1985.)

Brander, B. J. y Spencer, J. A. (1983), «International R&D Rivalry and Industrial Strategy»: *Review of Economic Studies* 50, 707-722.

Cohen, A. J. y Harcourt G. C. (2003), «Whatever Happened to the Cambridge Capital Theory Controversies?: *Journal of Economic Perspectives* 17 (1), 199-214.

Cooley, T. F. y Prescott, E. C. (1995), «Economic Growth and Business Cycles», en Th. F. Cooley (ed.), *Frontiers of Business Cycle Research*, Princeton University Press, Princeton, cap. 1, 1-38.
Damme, E. van (1994), «Evolutionary game theory»: *European Economic Review* 38 (3/4), 847-858.
Davis, D. D. y Holt, C. A. (1993), *Experimental Economics*, Princeton University Press, Princeton.
Debreu, G. (1959), *Theory of value. An axiomatic analysis of economic equilibrium*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
Debreu, G. (1984), «Economic Theory in the Mathematical Mode»: *American Economic Review* 74 (3), 267-278.
Debreu, G. (1986), «Theoretic Models: Mathematical Form and Economic Content»: *Econometrica* 54 (6), 1259-1270.
Debreu, G. (1991), «The Mathematization of Economic Theory»: *American Economic Review* 81 (1), 1-7.
Evans, M. K. (1969), *Macroeconomic Activity. Theory, Forecasting, and Control. An Econometric Approach*, Harper and Row Publishers, New York.
Fisher, F. M. (1989), «Games economists play: a noncooperative view»: *RAND Journal of Economics* 20 (1), 113-124.
Fisher, F. M. (2002), «Well-grounded theory, and aggregation»: *Economics and Philosophy* 18 (1-3), 17-20.
Friedman, M. (1953), «The methodology of positive economics», en *Essays in Positive Economics*, The Chicago University Press, Chicago, 3-43. (Las citas están tomadas de la versión castellana publicada en la *Revista de Economía Política*, mayo-diciembre de 1958, pp. 354-397.)
Frisch, R. (1933), «Editorial»: *Econometrica* 1 (1), 1-4.
García-Bermejo Ochoa, J. C. (2002), «Sobre el método axiomático en la teoría de la elección social», en W. González, G. Marqués y A. Ávila (eds.), *Enfoques filosófico-metodológicos en economía*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, 2002, 217-274.
García-Bermejo Ochoa, J. C. (2003), «¿Modelos generales o modelos sencillos y referentes a casos específicos?», en *Objetividad, Realismo y Retórica. Nuevas Perspectivas en Metodología de la Economía*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, 123-164.
Gibbard, A. y Varian, H. R. (1978), «Economic Models»: *The Journal of Philosophy* 75, 664-677.
Goeree, J. K. y Holt, C. A. (2001), «Ten Little Treasures of Game Theory and Ten Intuitive Contradictions»: *American Economic Review* 91 (5), 1402-1422.
Haavelmo, T. (1944), «The Probability Approach in Econometrics»: *Econometrica* 12 (Suplemento de julio).
Hands, D. W. (1985), «The Structuralist View of Economic theories: A Review Essay»: *Economics and Philosophy* 1, 303-335.
Hands, D. W. (2001), *Reflection without rules: economic methodology and contemporary science theory*, Cambridge University Press, Cambridge.

Hausman, D. M. (1992), *The inexact and separate science of economics*, Cambridge University Press, Cambridge.
Hausman, D. M. (2003), «Taking causal questions seriously» (reseña de Hoover 2001*a* y *b*): *Journal of Economic Methodology* 10 (2), 259-269.
Hoover, K. D. (2001*a*), *The Methodology of Empirical Macroeconomics*, Cambridge University Press, Cambridge.
Hoover, K. D. (2001*b*), *Causality in Macroeconomics*, Cambridge University Press, Cambridge.
Jones, Ch. I. (1998), *Introduction to economic growth*, W. W. Norton & Company, Inc., New York.
Keynes, J. M. (1936/1965), *The general Theory of Employment, Interest and Money*, Brace and World, Hartcourt, New York.
Kirman, A. P. (1992), «Whom or What Does the Representative Individual Represent»: *Journal of Economic Perspectives* 6 (2), 117-136.
Kreps, D. M. (1990*a*), *Game Theory and Economic Modelling*, Clarendon Press, Oxford. (Versión castellana publicada en 1994 en México por Fondo de Cultura Económica.)
Kreps, D. M. (1990*b*), *A Course in Microeconomic Theory*, Harvester Wheatsheaf, New York. (Versión castellana publicada en 1995 en Madrid por McGraw-Hill/Interamericana de España.)
Krugman, P. R. (1991), «History versus expectations»: *Quarterly Journal of Economics* 106, 651-667.
Krugman, P. R. (1994), *Peddling Prosperity*, W. W. Norton & Co., New York. (Las citas están tomadas de la edición en castellano *Vendiendo Prosperidad*, Ariel, Barcelona, 1994.)
Krugman, P. R. (1995), *Development, Geography, and Economic Theory*, The MIT Press, Cambridge, Mass. (Versión castellana publicada en 1995 en Barcelona por A. Bosch.)
Kydland, F. E. y Prescott, E. (1991), «The Econometrics of the General Equilibrium Approach to Business Cycles»: *Scandinavian Journal of Economics* 93 (2), 161-178.
Kydland, F. E. y Prescott, E. (1992), «El análisis econométrico del enfoque de equilibrio general de los ciclos económicos»: *Cuadernos Económicos de ICE* 48, 125-142.
Kydland, F. E. y Prescott, E. (1996), «The Computational Experiment: An Econometric Tool»: *Journal of Economic Perspectives* 10 (1), 69-85.
Leijonhufvud, A. (1985), «Ideology and Analysis in Macroeconomics», en P. Koslowski (ed.), *Economics and Philosophy*, J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen, 182- 207.
Leijonhufvud, A. (1997), «Models and Theories»: *Journal of Economic Methodology* 4 (2), 193-198.
Leontief, W. (1971), «Theoretical assumptions and nonobserved facts»: *American Economic Review* 61, 1-7.
Leontief, W. (1982), «Academic Economics»: *Science* 217, 104-107.
Lucas, R. E., Jr. (1976), «Understanding Business Cycles», en K. Brunner y A. H. Meltzer (ed.), *Stabilization of the domestic and international eco-*

nomy, «Carnegie-Rochester Series on Public Policy» 5, North-Holland, Amsterdam, 7- 29.

Lucas, R. E., Jr. (1980), «Methods and Problems in Business Cycle Theory»: *Journal of Money, Credit and Banking* 12 (noviembre de 1980, 2.ª parte), 696-715. (Las citas están tomadas de la reimpresión llevada a cabo en *Studies in business-cycle theory*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1981, 271-296.)

Lucas, R. E., Jr. (1987), *Models of Business Cycles*, Basil Blackwell, Yrjö Jahnsson Lectures, Oxford y New York. (Las citas están tomadas de la versión castellana, publicada en Madrid en 1988 por Alianza Editorial bajo el título *Modelos de ciclos económicos*.)

Lucas, R. E., Jr. y Sargent, Th. J. (1979), «After Keynesian Macroeconomics», reimpreso en Preston J. Miller (ed.), *The Rational Expectations Revolutions. Readings from the Front Line*, The MIT Press, Cambridge, Mass., 5-30.

Mäki, U. (1994), «Isolation, Idealization and Truth in Economics», en B. Hamminga y N. B. de Marchi (eds.), *Idealization VI: Idealization in Economics* («Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities» 38), Rodopi, Amsterdam, 147-168.

Mäki, U. (1999), «Theoretical Isolation and Explanatory Progress: Transaction Cost Economics and the Dynamics of Dispute», Erasmus University Rotterdam (*Draft* de 20 de julio).

Mäki, U. (2003), «'The methodology of positive economics' (1953) does not give us *the* methodology of positive economics»: *Journal of Economic Methodology* 10 (4), 495-505.

Marcet, A. (1991), «La formación de expectativas», en R. Marimón y X. Calsamiglia (dirs.), *Invitación a la teoría económica*, Ariel Economía, Barcelona, 249-263.

Mas-Colell, A. (1991), «Sobre el problema del determinismo en teoría económica», en R. Marimón y X. Calsamiglia (dirs.), *Invitación a la teoría económica*, Ariel Economía, Barcelona, 58-73.

Milgrom, P. (1989), «Auctions and Bidding: A Primer»: *Journal of Economic Perspectives* 3 (3), 3-22.

Miller, P. J. (ed.) (1994), *The Rational Expectations Revolutions. Readings from the Front Line*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Mongin, P. (2001), «La théorie économique a-t-elle besoin des mathématiques?»: *Tiré-à-part* 93, 129-140.

Mongin, P. (2002), «L'Axiomatization et les théories économiques» (mimeo; de próxima aparición en *Revue Économique*).

Morishima, M. (1991), «General Equilibrium Theory in the Twenty-First Century»: *Economic Journal* 101 (404), 69-74.

Morgan, T. (1988), «Theory versus empiricism in academic economics: update and comparisons»: *Journal of Economic Perspectives* 2, 159-164.

Myerson, R. B. (1999), «Nash Equilibrium and the History of Economic Theory»: *Journal of Economic Literature* XXXVII, 1067-1082.

Neumann, J. von y Morgenstern, O. (1944), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton.

Oswald, A. J. (1991), «Progress and microeconomic data»: *The Economic Journal* 101, 75-80.

Poundstone, W. (1992), *Prisoner's Dilemma. John von Neumann, Game Theory and the Puzzle of the Bomb*, Doubleday New York. (Trad. esp.: *El dilema del prisionero. John von Neumann, la teoría de juegos y la bomba*, Alianza, Madrid, 1995.)

Rabin, M. (1998), «Psychology and Economics»: *Journal of Economic Literature* XXXVI, 11-46.

Rosenberg, A. (1998), «La Teoría Económica como Filosofía Política»: *Theoria* (segunda época) 13 (32), 279-299.

Rothschild, M. y Stiglitz, J. (1976), «Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information»: *Quarterly Journal of Economics* 80, 629-649.

Rubinstein, A. (1998), *Modeling Bounded Rationality*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Salop, S. y Stiglitz, J. (1977), «Bargains and Ripoffs»: *Review of Economic Studies* XLIV, 493-510.

Samuelson, P. A. (1947), *The Foundations of Economic Analysis*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. (Las citas corresponden a la versión castellana de la primera edición, publicada en 1967 en Buenos Aires por El Ateneo bajo el título *Fundamentos del Análisis Económico*.)

Schumpeter, J. (1933), «The Common Sense of Econometrics»: *Econometrica* 1 (1), 5-12.

Selten, R. (2001), «What Is Bounded Rationality?», en G. Gigerenzer y R. Selten (eds.), *Bounded Rationality. The Adaptative Toolbox*, The MIT Press, Cambridge, Mass., 13-36.

Sen, A. (1986), «Prediction and Economic Theory», en J. Mason, P. Mathias y J. H. Wescott (eds.), *Predictability in science and society: A joint symposium of the Royal Society and the British Academy held on 20 and 21 March 1986*, The Royal Society and the Brithish Academy, London, 3-23.

Sheffrin, S. M. (1983), *Rational Expectations*, Cambridge University Press, Cambridge.

Simon, H. (1963), «Problems of Methodology – Discussion»: *The American Economic Review: Papers & Proceedings* 53, 229-231. (Las citas están tomadas de la reimpresión incluida en D. Hausman [ed.], *The Philosophy of Economics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984, 245-248.)

Simon, H. (1969), *The Sciences of the Artificial*, The MIT Press, Cambridge, Mass.

Simon, H. (1978), «Rationality as a Process and as a Product of Thought»: *American Economic Review* 68, 1-16.

Spence, M. (1973), «Job market signaling»: *Quarterly Journal of Economics* LXXXVII (3), 355-374.

Starmer, C. (1999*a*), «Experimental Economics: Hard Science or wasteful Tinkering?»: *Economic Journal* 109 (453), 5-15.

Starmer, C. (1999*b*), «Experiments in economics: should we trust the dismal scientists in white coats?: *Journal of Economic Methodology* 6 (1), 1-30.

Starmer, C. (2000), «Developments in Non-Expected Utility Theory: The Hunt for a Descriptive Theory of Choice under Risk»: *Journal of Economic Literature* XXXVIII, 332-382.

Stiglitz, J. E. (2002), «Information and the Change in the Paradigm in Economics»: *American Economic Review* 92 (3), 460-501.

Sugden, R. (2000), «Credible worlds: the status of theoretical models in economics»: *The Journal of Economic Methodology* 7, 1-31.

Sutton, J. (2000), *Marshall's Tendencies. What Can Economists Know?*, Leuven University Press/The MIT Press, Leuven/Cambridge, Mass.

Zapatero, J. C. (1977), «K. Popper y la metodología de las ciencias sociales»: *Cuadernos Económicos de ICE* 3-4, 97-109.

LA SOCIOLOGÍA Y SUS MODELOS MATEMÁTICOS

Carlos Lozares

En el primer apartado se hace un rápido recorrido de las relaciones entre las matemáticas y la sociología que se enmarca y es paralela a la historia de las relaciones entre las matemáticas y las ciencias sociales. Los apartados segundo y tercero están dedicados a la idea de modelo matemático y a sus diversas aplicaciones en sociología como concreción de las relaciones entre ambas disciplinas. El cuarto está enfocado a pasar revista a algunos de los retos que los fenómenos sociales plantean a la sociología sobre todo a partir de los años noventa y cómo ésta trata de responder con nuevos planteamientos y modelos. El punto de vista o aproximación con que me acerco a examinar estas relaciones es el de un sociólogo no sólo dedicado a la investigación sociológica con métodos que franquean los límites de los clásicos tratamientos matemáticos en sociología, sino preocupado por los problemas metodológicos consecuentes.

1. LA SOCIOLOGÍA Y LAS MATEMÁTICAS: UN BREVE RELATO RELACIONAL

Los padres de la sociología no expresaron directamente sus propuestas en lenguaje matemático pero muchas de ellas han sido formalizadas más tarde; sin embargo, no tuvieron la menor duda de que sus concepciones sociológicas se enmarcaban en la corriente del pensamiento científico de su época. Comte no sólo es partidario y promotor de la traslación de los modelos y procedimientos del mundo científico al mundo social sino que lo encuentra beneficioso para la aplicación de la sociología al mundo real, aunque ni lo lleva a cabo ni

explica cómo hacerlo. Para él la sociología es una disciplina del tercer estadio del desarrollo del proceso de racionalización que han seguido la ciencia y la cultura: el teológico o ficticio, el metafísico o abstracto y el científico o positivo (Rapoport 1983). Spencer considera necesario el uso de los modelos matemáticos para estudiar los procesos de diferenciación funcional a partir de la relación entre sistemas homogéneos y heterogéneos en sociedades en proceso creciente de complejidad. Durkheim introduce la idea de función, en parte equiparable a la actual en matemáticas, aunque diferencie entre función y causa para dar cuenta de cómo opera la división del trabajo en los procesos de integración mecánica y orgánica. Su teoría de que el aumento de la diferenciación crea e incrementa la competición puede ser expresada por un sistema de ecuaciones diferenciales. Para Fararo (1984*b*) el sistema de Marx es un caso especial de red causal funcional. Las clases sociales y las relaciones sociales tienen fuerza causal sobre la estructuración y el cambio social. La dialéctica marxista es expresable en forma funcional; incluso la contradicción puede ser interpretada en términos de teoría de balance. En la concepción de Weber completada con la de Mead como fundamento del interaccionismo simbólico en sociología encuentra también Fararo dos componentes formales, un modelo de retroalimentación negativa del estado continuo y un modelo de sistema de producción del estado-discreto, ambos son cibernéticos. Simmel ofrece aportaciones importantes con indudables connotaciones matemáticas. Primero, la noción de sociología formal o la forma en sociología como modo de abstracción con dos elementos: por un lado, estructura social (edad, religión, salud, autoridad, bienestar) como sistemas univariados o multivariados y las relaciones diádicas, triádicas con su expansión intra e intergrupo en la sociedad; por otro, las redes de representación de los sistemas sociales. Segundo, la distinción entre forma y contenido: los procesos de la vida se sintetizan en términos de formas, p.e., las formas de interacción se representan geométricamente para diferenciarlas de los mecanismos causales como estructuras subyacentes.

La *sociología matemática*, con nombre y contenido específicos, surge a partir de los años cuarenta y se desarrolla más intensamente en los cincuenta y sesenta. Para Newell y Simon (1972) es en estos años donde se dan avances importantes combinándose los modelos teórico-formales con otros de índole más metodológico. Sus promotores tratan de dar estatus de cientificidad a la sociología según el patrón positivista de la ciencia natural (Fararo 1984*a*).

Los trabajos pioneros en sociología matemática se dieron en los finales de los años cuarenta y cincuenta a partir de tres orígenes: Dodd

(1942 y 1955), que ha sido reconocido por Fararo (1997) y Sorensen (1978) como un pionero de la sociología matemática aunque sin mayor impacto posterior. El biólogo Rashecsky (1959), que comienza a hablar de sociología matemática usando gran variedad de modelos, sus trabajos han quedado también un tanto en el olvido; no así Landau (1951) y Rapoport (1953). Lazarsfeld (1954) y su grupo y Simon (1957), que realizan un trabajo pionero sobre todo en la vertiente metodológica con gran impacto en la sociología posterior. En estos años se institucionaliza en la sociología la distinción entre teoría, con Parson en Harvad, y metodología, con Lazarsfeld en Columbia. La vertiente metodológica de Lazarsfeld permite testar hipótesis, operativizar, introducir la métrica, la hipótesis nula, el método de encuesta y el experimento. La orientación de Lazarsfeld será dominante y se consagrará como un «recetario» del buen hacer en la investigación científico-social. La distinción precedente teórica *versus* metodológica marcará los dos tipos o tendencias que se dan en la relación entre matemáticas y sociología. La orientación teórico-formal consiste en el desarrollo de modelos matemáticos que expresan y dan forma, precisión y capacidad explicativa a la teoría sociológica. Algunos sociólogos claves en esta época son: Rapoport (1960), que lleva a cabo un lúcido estudio sobre modelos de conflicto; Simon (1957), que formaliza la teoría de Homans; Blumen, Kogan y McCarty (1955), que tratan la movilidad usando las cadenas de Markov; Coleman (1954), que critica los modelos de Rashevsky y desarrolla modelos de datos en sociometría y difusión (cf. Coleman, Katz y Manzel 1966). Hay que señalar que estos autores no buscaban tanto que estos modelos fueran correctos en cada detalle sino que fueran generalizables en sentido formal. Con todo, esta tendencia de modelación teórica fue, en los años cincuenta, minoritaria y estaba formada por una élite de teóricos socio-matemáticos frente a una mayoría de estadísticos sociales con una orientación metodológica centrada en encontrar la varita mágica operativa de las definiciones e instrumentos de análisis y validación (cf. Fararo, 1984*a*, y Sorensen 1978).

Los años sesenta avanzan en el desarrollo y maduración de la sociología matemática. En ellos, la sociología se expone a los entornos intelectuales y profesionales que provienen de otras disciplinas. Coleman es ingeniero y consigue su doctorado en sociología por la Columbia de Lazarsfeld en 1952; White es doctor en física teórica y obtiene un doctorado en sociología en Princeton en 1960. Fararo, aunque llega a la sociología con una licenciatura en ciencia política e historia, había cursado ya estadística en los primeros sesenta y acrecentado su formación matemática durante varios años. Todos ellos estuvieron in-

fluidos por Rapoport (1951 y 1957). Estos años representan un periodo de gran creatividad en la construcción de modelos teórico-formales que marcaron un hito en el desarrollo de la sociología matemática. Contribuciones importantes fueron las de Coleman (1964), las de Fararo, cuya tesis versó sobre la aplicación de modelos a datos de redes de conexión en las decisiones de mercado, la de Rapoport, del que uno de sus trabajos (Rapoport y Horvath 1961) sobre los mundos pequeños fue retomado por Travers y Milgram (1969) que, a su vez, sirvió de base para los estudios posteriores de la fuerza de los lazos débiles de Granovetter (1973), las de Berger, Zelditch y Anderson (1966) y las de Harary, Norma y Cartwright (1965), muy vinculados a la teoría de grafos. Los modelos de procesos estocásticos fueron populares entre los formalistas así como los de Rapoport sobre estructuras estocásticas, los de estructuras algebraicas sobre parentesco de White (1963) y de Zetterberg (1965) sobre validación y verificación.

Los años setenta acentúan las tendencias precedentes. Primero, por la proliferación de nuevos trabajos teóricos como, p.e., el análisis de Granovetter (1973) sobre el rol de los lazos débiles en sociología que constituye para muchos una contribución óptima de la entente entre matemáticas y teoría sociológica dentro del análisis de redes sociales; segundo, el refinamiento de modelos de procesos estocásticos y deterministas y, tercero, el replanteamiento de los fundamentos filosóficos de la relación entre las ciencias de la naturaleza y la sociología (cf. Fararo 1984*a*, 1997, y Hayes 1984).

La década de los años ochenta, que en sus inicios está marcada por la corriente formalizadora de la sociología matemática, ve, de alguna manera, su declive al menos tal y como se había entendido y florecido entre los años cincuenta y setenta. Pero ello no es obstáculo a un mayor uso de la matemática en el análisis social con métodos multivariados y estadísticos. También emergen con fuerza los métodos causales, fronterizos entre la sociología matemática y la sociología de la investigación aplicada, que encuentran su fundamento en los trabajos de los años cincuenta de Kendall y Lazarsfeld (1950) y Simon (1957, 1979) y de los sesenta, Blalock (1964) y Coleman (1964). De todas maneras la sociología matemática de los ochenta falla en el desarrollo de un cuerpo integrado de métodos y resultados apareciendo algo repetitiva y dispersa en modelos, temas y objetivos. La sensación es la de un retroceso de la sociología teórica formalizada (cf. Fararo 1984*a*, 1997, y Hayes 1984). Es además una década de transición en la que los análisis de simulación social comienzan a hacer su aparición.

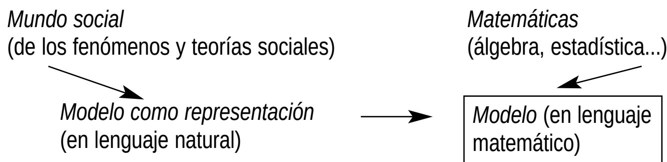
En todas estos años las temáticas sociales y matemáticas más tratadas y desarrolladas a los estudios de estructura y movilidad social a partir de la teoría de redes sociales y de grafos, de conjuntos y álgebras, entre otras la matricial y las cadenas de Markov; a las validaciones, generalizaciones, cuasi-experimentación etc., a partir de modelos estocásticos y distribución de probabilidades; a los procesos de toma de decisión, competición y cooperación por la teoría de juegos y de la utilidad, los análisis de supervivencia y los modelos de optimización; a los procesos sociales de desarrollo, extensión y propagación por los modelos de difusión y a la causalidad y funcionalidad por los modelos casuales y más en general los multivariados (cf. Maki y Thompson 1973; Mapes 1971; Helbing 1985).

Salta a la vista que el desarrollo de la sociología matemática tiene mucho que ver con las corrientes filosóficas de dichas décadas y concretamente con la influencia de neopositivismo (opuesto al interpretativismo) y del realismo (opuesto al antirrealismo). A partir de los años noventa se introducen lentamente los modelos de simulación social; sobre ello se volverá en el último apartado.

2. LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Los supuestos ontológicos que se adopten sobre el objeto de estudio y la concepción metodológica que se tenga del contenido y la función de los modelos matemáticos son la piedra de toque del estatus de las relaciones entre sociología y matemáticas. Enfocaré estas reflexiones exclusivamente desde la vertiente metodológica.

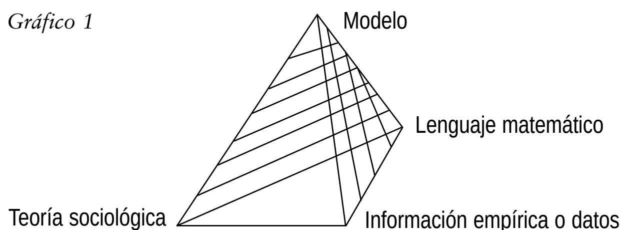
Un modelo es la representación o imagen que bajo ciertas condiciones se atribuye a los sistemas reales, mentales o simbólicos: instituciones, acontecimientos, creencias, comportamientos, etc. Al inicio, la construcción de los modelos y de sus representaciones se suelen expresar por imágenes y por proposiciones del lenguaje natural pero también por concreciones físicas como maquetas (modelos reducidos o analógicos) y gráficos. Los modelos que aquí interesan son los simbólicos del lenguaje abstracto de las matemáticas (y/o computacional). Un modelo matemático es la expresión en forma matemática, implicando relaciones entre variables u otras entidades, de un conjunto de declaraciones y/o proposiciones sustantivas. El éxito de la modelación matemática consiste en encontrar la formulación que sea apropiada a la realidad que se estudia (Saaty y Joyce, 1981). Visto en esquema tenemos:



Un modelo se define de manera más abstracta como el conjunto de características que posee en común una familia de sistemas homomórficos, aquí el sistema de la realidad o de la teoría social y el sistema matemático, con un código que permite el paso de un sistema a otro. Dicha familia de sistemas contiene, o se pueden inferir de ella, las propiedades análogas que definen el modelo (Walliser 1977).

En el *tetraedro* (gráfico 1) la idea de modelo se sitúa en el vértice más alto del «triángulo de oro». Sus vértices son la teoría sociológica, los datos empíricos y el lenguaje matemático.

Gráfico 1



El tetraedro nos ilustra acerca de los diferentes tipos de modelos (Leik y Meeker 1975). Según qué cara se enfatice podemos tener expresiones diferentes del modelo. La cara (*Teoría sociológica, Lenguaje matemático*, *Modelo*) define un modelo teórico-matemático en el sentido de que expresa o representa una teoría sociológica, ideal de toda una generación de sociólogos matemáticos. La cara (*Información empírica-datos*, *Lenguaje matemático*, *Modelo*) identifica el concepto de modelo metodológico por el que optaré aquí. La cara (*Teoría sociológica*, *Información empírica-datos*, *Modelo*) define un modelo que puede expresarse en un lenguaje diferente del matemático o equivalente, situación corriente en la sociología.

El gráfico 2 muestra dos zonas bien definidas aunque permeables. La zona A, de la formalización teórica, con una fase deductiva que aboca a un modelo formal teórico-matemático e hipotético-deductivo. La zona B, metodológica, en la que, a partir de la información y los datos observados (y/o de una teoría no necesariamente formalizada), se construye un modelo que, por el análisis, genera datos espera-

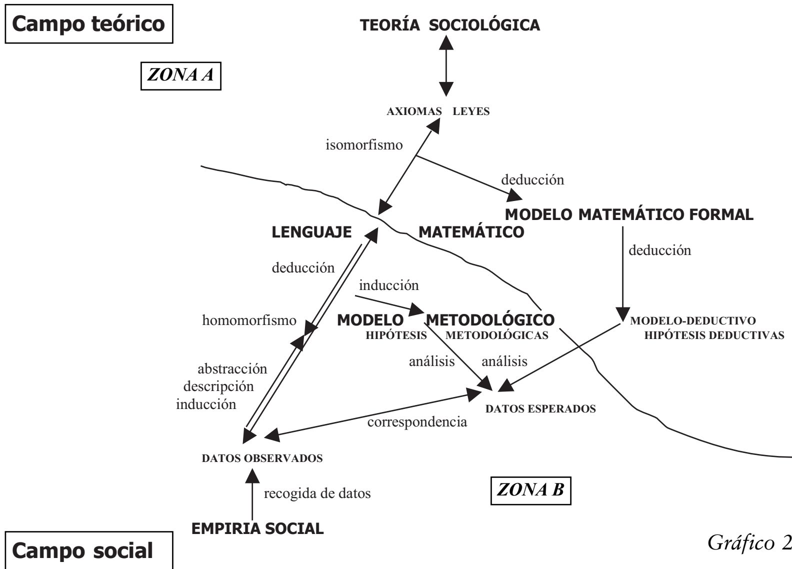


Gráfico 2

dos. Lo que nos lleva a dos alternativas en cuanto a la posible «materia prima» de modelación: o bien se dispone de una teoría y se tiene como objetivo su formalización matemática, o bien se dispone de informaciones y datos previos con el objetivo de construir un modelo matemático de naturaleza metodológica. La historia científica demuestra que la madurez de una disciplina se ha desarrollado paralelamente a la integración o uso de las matemáticas en ella, lo que no quiere decir su formalización absoluta (cf. White 1997, Saaty y Joyce 1981, Croon y van de Vijver 1994, Leik y Meeker 1975).

3. DE LAS DIFERENTES CONCEPCIONES ACERCA DE LA RELACIÓN ENTRE MATEMÁTICAS Y SOCIOLOGÍA A LOS DIFERENTES TIPOS DE MODELOS

Evidentemente la relación más o menos estrecha, eficaz y continuada entre la sociología y las matemáticas no ha estado exenta de controversia, y lo sigue estando, sobre todo dentro de la sociología. En este apartado doy cuenta de cómo se ha entendido dicha relación y cómo, en consecuencia, se conciben diferentes tipos de modelos matemáticos. La aproximación que hago no es filosófica sino a partir de la propia sociología y de los sociólogos, lo que puede hacer de más interés esta contribución.

¿Qué objeciones y/o posiciones manifiestan los sociólogos cuando se usa el lenguaje matemático como lectura y análisis de los fenómenos sociales? De manera relativamente extendida se da una resistencia o al menos reticencia o incluso, a veces, animadversión a dicho lenguaje. Se manifiesta de diversas maneras, incluso asociadas: la negación al lenguaje matemático de cualquier tipo de virtualidad y pretensión de neutralidad en su aplicación a la sociología, ya que la ideología implícita que conlleva, como mínimo, la dominante tecnocrática, contamina el quehacer sociológico; la oposición a cualquier reduccionismo algebraico y métrico que acarrearía la modelación matemática de lo social y que conduciría a evacuar el reducto irrenunciablemente cualitativista de la sociología; el rechazo de la validación matemática como referente exclusivo, ya que contradice el supuesto, ampliamente aceptado en sociología, como es el de la validez de las múltiples lecturas de lo social y el de las múltiples metodologías de acceso a su conocimiento (Rapoport 1983; Olinik 1978; Doreian 1970). Lo que subyace en el fondo de dichas posiciones es que el modelo de cientificidad normal y sus procedimientos para llegar al conocimiento de lo social no son los únicos aptos, incluso se niegan o se duda de ellos. Es como si aceptar el lenguaje matemático en tanto que lectura y análisis supusiera poner a la sociología al mismo nivel ontológico y epistemológico que las ciencias de la naturaleza.

De todas formas, mantengo que lo social y por tanto la sociología contiene diferencias evidentes con relación a las ciencias de la naturaleza, diferencias que interfieren también en la propia utilización de las matemáticas. Estas diferencias son de varios órdenes: 1) de orden metodológico: algunas de las condiciones del conocimiento y método científico ortodoxos pueden plantear problemas en la investigación de los hechos sociales: *a*) la dificultad o cuasi-imposibilidad de la reproducción y replicación de lo social, *b*) la implicación del observador en su objeto de estudio, *c*) la presencia de la intencionalidad e interacción que conlleva toda situación social, *d*) la dificultad y/o cuasi-imposibilidad de diseños experimentales controlados, *e*) una cierta resistencia de los conceptos sociológicos a definiciones precisas y no ambiguas, dada la naturaleza cambiante, compleja y pragmática del acontecimiento social, *f*) la dificultad añadida que supone la validación ecológica por la contextualización imprescindible de los fenómenos sociales, etc. 2) Otras se refieren a la propia comunicación científica: los modelos han de poderse leer y «comunicarse» de manera no ambigua, pero los fenómenos sociales, obedeciendo a una lógica más pragmática y en situación, son más resistentes y reacios a

modelarse formalmente y además se sospecha que, haciéndolo, perderían parte del sentido o significado o quizás de su «encanto» ambivalente.

3.1. *Posiciones sobre la relación entre matemáticas y sociología y las consecuentes concepciones de los modelos matemáticos*

Es palpable el rechazo bastante amplio que se da entre los estudiantes de sociología de licenciatura y doctorado, no ya sólo hacia la sociología matemática, sino cualquier intento mínimo de medición o formalización de la disciplina. Rapoport (1983) lo experimentó también entre sus alumnos. La fuerte oposición antiformalista y antimétrica (incluso anti-neopositivista) es pan nuestro de cada día en la enseñanza; la argumentación tiene que ver con algunas de las dificultades y/o «incompatibilidades» señaladas anteriormente. Por el contrario, la propuesta que aquí se hace es que una «buena» relación socio-matemática es imprescindible para el avance sociológico; con todo se trata de un vínculo que puede tener varios corredores en su arquitectura, unos más pertinentes o aceptables que otros. Es decir, que me sitúo entre los que dan una respuesta afirmativa a dicho tránsito pero también entre los que pretenden encontrar nuevas álgebras y modelos (White 1997). Incluso sospecho de que algunas de las dificultades señaladas provienen: *a*) de que los sociólogos no hemos respondido aún a diversos retos que nos plantea lo social sobre todo desde el punto de vista metodológico, volveré sobre ello, *b*) del hecho también de que hemos optado y trabajado mayoritariamente con un tipo de matemáticas como el único necesario pero incapaz de responder a retos como los de la complejidad y emergencia, interacción, etcétera.

En la historia de la sociología matemática se han dado diversos modos de entender los vínculos entre las dos disciplinas y por tanto de los modelos (Kim, Roush e Intriligator 1992; Leik y Meeker 1975; Sorensen 1978). Veamos.

1) *La formalización matemática de la teoría sociológica como constituyente del contenido de dicha teoría, o una visión internalista* (v. *externalista) y extensionista* (v. *reductora)*. Sin entrar en detalles señalo algunas características de dicha opción. Para quienes sostienen este punto de vista sobre las relaciones entre matemáticas y sociología la formalización matemática de la teoría sociológica constituye *per se* la misma teoría. Además, y subsidiariamente, da un rigor imprescindible a la precisión, coherencia conceptual, capacidad deductiva y consistencia en su axiomatización dentro del principio de justificación (Fararo 1984*a*); posibilita la decisión entre teorías alternativas o/y

opuestas (Croon y van de Vijver 1994); proporciona conexiones entre diferentes piezas de la investigación y de la teoría (Leik y Meeker 1975), consiguiendo principios unificadores (Rapoport 1983). Desde mi punto de vista todas las características mencionadas son aceptables, en mayor o menor grado. No es tan evidente la primera, que denomino al mismo tiempo internalista, pues es en su formalización matemática como se constituye en teoría sociológica (condición necesaria), y expansionista, porque no hay teoría social si no se da tal formalización matemática (condición suficiente). En este caso la vinculación matemático-sociológica sería similar a la que se da entre las matemáticas y la física y, en general, en la mayor parte de las ciencias naturales, es decir, que la teoría sociológica no sólo ha de incorporar un formalismo matemático *ad hoc* como su expresión inherente sino que dicho formalismo es definitorio e inherente al contenido mismo de la teoría sociológica y, en consecuencia, isomorfo con él. En mi opinión la teoría sociológica no se constituye en cuanto se formaliza y porque se formaliza sino que se trata, al menos en parte, de una teoría constituida pragmáticamente, dado que las hipótesis validadas (además de tener la forma de los modelos correspondientes) que constituyen la teoría son proposiciones vinculadas a situaciones sociales concretas y contextualizadas en ellas. La formalización, en el sentido internalista considerado, no me parece consustancial a la constitución de la teoría sociológica aunque pueda jugar, eso sí, una función de clarificación, coherencia interna y sobre todo de posible instancia para construir un modelo metodológico. Mi posición, siguiendo a Gire, es que la teoría no sólo se compone de partes axiomáticas coherentemente formalizadas sino también de contenidos hipotéticos sustantivos validados, debido a su componente contextual y pragmática.

Los modelos correspondientes a esta posición han de conectar isomórficamente un sistema teórico-sociológico con un sistema matemático y pueden denominarse por ello *modelos formal-matemáticos de una teoría sociológica axiomatizada* (Wilder 1965). Dichos modelos no tienen como objetivo directo ser instrumentos de validación de los fenómenos sociales, ya que son independientes de los contextos y situaciones. Sí que es verdad que la formalización matemática de una sociología axiomática es la expresión más clara del ideal de las matemáticas como lenguaje total pudiendo ser un principio unificador de las ciencias sociales entre diversas áreas de contenido (Rapoport 1983). Evidentemente el requisito es el de poder disponer de la materia prima, esto es, de una contribución teórica axiomatizada o axiomatizable. Esta visión fue importante para los sociólogos matemáticos de los años cincuenta, sesenta y setenta. Las mayores contribuciones de los mo-

delos formales matemáticos se encuentran, como he venido señalando, en la teoría de la acción (Hayes 1984), en la teoría de juegos y de la decisión, en las teorías de la información, en los modelos de cadena de Markov, en la teoría de grafos, en las formalizaciones causales.

2) *El argumento metodológico. Un modelo metodológico, construido, validable y pragmático*. Un segundo tipo de argumento sobre la relación entre matemáticas y sociología, por el que me inclino, es el que denomino *metodológico*. Representa una visión más externalista, reducida y pragmática de dicha relación. Esta posición supone: *a*) la presencia del lenguaje y formalización matemática en el campo de la metodología sociológica, pero, esta vez, ni como expresión que identifica contenidos sociales, ni como extensiva necesariamente a todos los componentes de la teoría sociológica; *b*) las hipótesis correspondientes a los modelos matemáticos metodológicos no son necesariamente deducibles de una teoría sociológica formalizada matemática o lógicamente, axiomática o no; *c*) el lenguaje matemático, en los modelos metodológicos, permite, por el análisis, obtener valores esperados para validar las hipótesis sustantivas correspondientes.

En esta dirección se sitúan los *modelos metodológicos*. En consecuencia estos modelos no pretenden establecer un isomorfismo sustantivo entre la formalización matemática y la teoría social y menos aún con los procesos o fenómenos sociales. Sin embargo, estos modelos contribuyen a construir la teoría, entendiendo la teoría como una composición de dichos modelos validados y de sus hipótesis correspondientes. Además de su naturaleza metodológica, dichos modelos se caracterizan también por ser *construidos, dispuestos a su falsación y pragmáticos*. Son *pragmáticos* como expresión formal de hipótesis que revelan estados reales del mundo y, por tanto, con dosis de interpretación pragmática de dicho mundo (Maki y Thompson 1973). Cuando hablo de modelos metodológicos me refiero a modelos pegados y orientados a la realidad social, aunque también puedan apoyarse en orientaciones, conceptos o proposiciones teóricas. Pero aunque pegados a tierra los modelos, como abstracción que son, han de simplificar, sin deformar, la complejidad de lo social, ya que el arte de construir un modelo es conocer cómo y dónde simplificar (Bartholomew 1973); es decir, los modelos metodológicos han de contener los aspectos fundamentales del sistema del mundo real examinado en forma de abstracciones pertinentes e importantes. El que sean modelos *dispuestos a su falsación* quiere decir que han de generar valores esperados que posibiliten su confrontación a los observados en el mundo social; con ello, se vacunan contra la tentación de ser puros formalismos de la teoría (Bradley y Schaefer 1998).

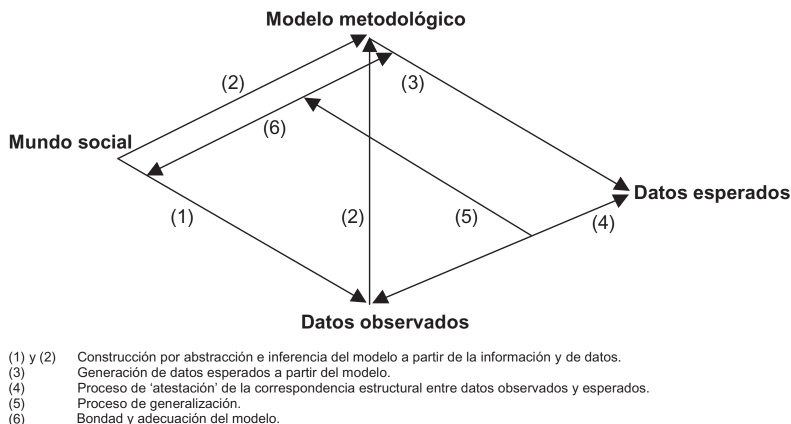


Gráfico 3

Se trata también de modelos *construidos* en el sentido de que, en principio, no son prefabricados o importados serialmente de otras disciplinas ni tan sólo de las matemáticas, sino que para su elaboración se han de seguir pasos pertinentes a los del fenómeno social en curso. Tienen, pues, un proceso de elaboración (gráficos 3 y 4).

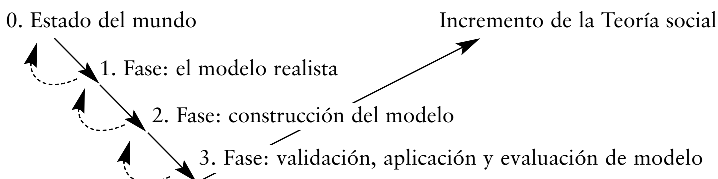


Gráfico 4. T. J. Fararo, 1973.

De esta concepción participan el *modelo generador* de Boudon entendido como una formulación o estructura estadística (algebraica, en general) que genera teoría incluyendo en ella una estructura empírica observada y sus consecuencias (Boudon 1981); el *modelo de Giere* conlleva una orientación similar a las características que atribuyo al modelo metodológico (Giere 1991, 1988); idénticamente el *modelo de Bailey* dentro de su concepción de la entropía social, (Bailey 1994).

El modelo por el que abogo no tiene como materia prima directa la teoría social axiomatizada sino que lo que pretende es: *a*) incre-

mentar el acervo mismo de la teoría por la validación de las hipótesis como objetivo de este tipo de modelos; *b*) ganar en capacidad predictiva, si es el caso (Croon y van de Vijver 1994; Walliser 1977); *c*) precisar y clarificar los conceptos y proposiciones eliminando las connotaciones camaleónicas, o incluso paradójicas, tan del gusto de los interpretativistas —útiles, sin embargo, en algunos momentos de la investigación—, lo que no quiere decir que la precisión se ha de llevar a cabo solamente a través de las matemáticas; *d*) ayudar notablemente a la parquedad y parsimonia necesarias a todo proceso de investigación (Doreian 1970), es decir, tomar la simplicidad como valor de investigación (Bradley y Schaefer 1998; Molenaar 1994). Los modelos así concebidos permiten, por un lado, la generalización legitimada por el lenguaje matemático de las pautas sistemáticas provenientes de la observación empírica y, por otro, la virtualidad deductiva que da pie a extraer consecuencias, otras de los resultados directamente obtenidos.

3) *Los argumentos instrumental versus el heurístico*. El primero va en la dirección del uso puramente utilitario de las matemáticas, y el segundo consiste en su uso ilustrativo o exploratorio por medio de metáforas o analogías para aclarar una lectura conceptual o relacional de las ideas y resultados sociológicos. Sin embargo, no hay que olvidar que el contenido gráfico puede ser muchas veces isomorfo con las expresiones analíticas que representan.

La opción que he tomado por los modelos metodológicos, que no es ecléctica sino equilibrada, es la que, desde mi perspectiva, debería constituir el foco central de la sociología matemática.

3.2. *Clasificaciones de los modelos usados en sociología*

La clasificación de Rapoport (1983), adoptada por Fararo (1984*a*-*b*) como la más recurrida es, posiblemente, la que mejor refleja la amplitud de los modelos matemáticos en sociología, al menos hasta los años ochenta. Ambos autores son pioneros y eminentes representantes de la formalización matemático-axiomática; por ello, aunque la clasificación esté un tanto sesgada por tal inclinación es aceptable. Se trata de un cuadro de doble entrada en donde se tienen en cuenta: *a*) los objetivos particulares de la investigación: predictivos, normativos y analítico-descriptivos y *b*) los instrumentos matemáticos usados: clásicos, estocásticos y estructurales.

	a) OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN		
	Predicativos	**Normativos**	**Analítico-descriptivos**
b) ESTRUCTURA MATEMÁTICA			
Clásicos	Procesos de contagio	Modelos con control	Distribuciones de equilibrio
	Macroprocesos dinámicos		Estadística demográfica
Estocásticos	Movilidad social	Teoría, decisión estadística	Distribución de tamaños
Estructurales	Evolución, sociogramas de organización	Modelos de organización normativa	Sociometría. Teoría de la elección social

A. Rapoport 1983 (simplificada).

Tabla 1: Áreas de investigación donde predominan diversos tipos de modelos matemáticos y diversos objetivos de investigación.

Los modelos *normativos*, además de las supuestas relaciones subyacentes entre variables y/o sus derivadas, implican explícita o implícitamente valores postulados de estados idealizados. La modelación de los fenómenos sociales se hace en términos de funciones objetivas que han de ser maximizadas o minimizadas (Bradley y Schaefer 1998). En ciencias sociales se da una relación entre modelos *normativos* y *predictivos*, pues habitualmente un actor pretende llevar a cabo un estado óptimo pero también controlar las variables sociales (Rapoport 1983). Los científicos sociales orientados matemáticamente han dirigido también su mirada a modelos que no son ni predictivos ni normativos, es decir, a los llamados *modelos analíticos-descriptivos*. Estos modelos consiguen una más clara comprensión del marco estructural en el que los acontecimientos se implican o condicionan las acciones humanas. Un modelo descriptivo no tiene por qué generar predicciones o proporcionar medios de control. Los *modelos clásicos* giran en torno a las relaciones cuantitativas expresables en funciones analíticas de variables. Los modelos (normativos o descriptivos) pueden ser entendidos como clásicos en la medida en que las funciones analíticas son centrales en su formulación. Los *modelos estructurales* juegan un papel importante en sociología, estructura y grupos sociales, transiciones, cambios, etc. Las manifestaciones predominantes son la teoría de conjuntos, matricial, de redes, de grafos. En los *predictivos* están más presentes las álgebras lineales y de ecuaciones diferen-

ciales, así como lo está la teoría de la probabilidad en los *normativos*, que implican optimización de las decisiones en situaciones de riesgo. Una distinción importante es la que se da entre modelos *estocásticos y deterministas*. Ambos participan en común en que pueden ser predictivos, ya que permiten decir algo sobre el estado de un sistema en el futuro si el actual está bien descrito (Olinik 1978). Los *estocásticos* incorporan datos de variables aleatorias que toman valores con diferente probabilidad (p.e. la curva normal, la regresión). Son modelos muy desarrollados en sociología y han supuesto un avance decisivo para la investigación: conocida la distribución del sistema actual y las fuerzas que actúan sobre él podemos predecir la probabilidad de distribución en tiempos subsecuentes. Los *deterministas* reclaman un conocimiento exacto de los datos implicados para cada estado del sistema que con el conocimiento de las condiciones iniciales da una seguridad completa sobre el comportamiento futuro del mismo. El uso general de estos modelos, sobre todo si son lineales, conlleva objeciones importantes por su inadecuación, pero, además, están superados en los fenómenos físicos, p.e., por el principio de Heisenberg. Otras clasificaciones son parcialmente redundantes con las precedentes[1].

Fararo (2000) diferencia más recientemente cuatro tipos de modelos que los sociólogos viene usando que son como cuatro principios de representación de la forma de la estructura de la vida social. Estas cuatro formas se refieren a: *a*) la estructura como redes, la metáfora es la de las redes y se basa en la cada vez más enraizada teoría de redes sociales aunque no dominante en ciencias sociales; *b*) la estructura como distribución, basada en la teoría de Blau (1977); *c*) la estructura como gramática, basada en los trabajos de Saussure (1966 [1915]) y en la teoría del lenguaje de Chomsky (1957), por la que el sistema social puede ser tratado como una forma de lenguaje); y *d*) la estructura como juego que tiene su fundamento en la teoría de la elec-

1. La de Saaty y Joyce (1981) mantiene un gran paralelismo con la de Rapoport y Fararo: *a*) sistemas algebraicos de ecuaciones/inecuaciones; *b*) procesos de optimización; *c*) estocásticos. La de Sorensen (1978) va en la misma línea: *a*) la realidad social que se modela: los procesos tradicionalmente enfatizan causas o mecanismos de cambio y la acción como resultado de procesos de intención (más cerca de los economistas como la teoría de la decisión, que no ha sido el fuerte de sociólogos excepto Coleman, Boudon); *b*) los principios de construcción de los modelos empleados; *c*) los lenguajes matemáticos usados. En la clasificación de Walliser (1977), las matemáticas son un lenguaje: *a*) tipologías sintácticas: grafos, matrices, modelos analíticos (ecuaciones diferenciales, lineales, dinámicas o estables, deterministas o estocásticas); *b*) tipologías semánticas: globales o parciales; *c*) tipologías pragmáticas: i) cognitiva, representación del conocimiento humano (Bradley y Schaefer 1998); ii) predictiva; iii) decisional; iv) normativa.

ción racional. Precisamente las cuatro concepciones de la estructura social encuentran reflejos e isomorfismos en estructuras algebraicas correspondientes. Fararo (2000) destaca que uno de los aspectos más interesantes de la reciente sociología teórica es el uso de combinaciones de los cuatro modelos. Por tanto para él forman un conjunto de modelos interrelacionados. Fararo indaga también en la combinación entre modelos de estructura y procesos:

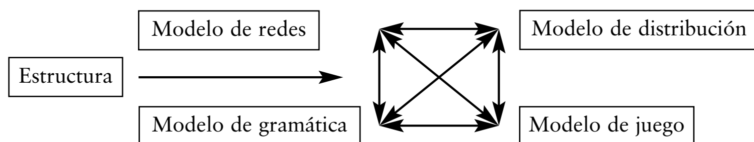


Gráfico 5

4. LOS NUEVOS RETOS Y MODELOS PARA LA SOCIOLOGÍA MATEMÁTICA

4.1. *Los avances de los modelos precedentes hasta la transición de los años ochenta*

La pretensión de los pioneros de la sociología matemática fue idear y desarrollar sistemas formal-matemáticos de los conjuntos axiomáticos. Este ideal formalizador que tiene una concreción evidente en los sistemas teóricos de la física (Newton, relativista o cuántico) no se ha visto tan satisfecho en la sociología. Las corrientes neopositivistas de la época y posiblemente también el hecho de que una parte importante de los padres de la sociología matemática proviniera de las ciencias de la naturaleza o de otras sociales como la economía, con más tradición y peso formalizador, influyeron en dicha orientación, que, en parte, se ha prolongado hasta hoy día en algunas propuestas vinculadas a la inteligencia artificial. Aunque haya optado por modelos metodológicos como los más adecuados a la sociología, el esfuerzo formalizador y la opción por una utilización de la matemática a fondo no ha sido baldío, pues ha influido en los modelos metodológicos y de rango medio y en general en el desarrollo de la disciplina: *a*) la superación del determinismo sociológico y la adopción mayoritaria en sociología de la lógica probabilista y de la estadística como el análisis de muestreo, test de bondad, ajustes de funciones, optimización, distribuciones, errores y generalización externa, etc.; *b*) el masivo, y excesivo, desarrollo de los modelos lineales que ha permitido expresar, más allá de los conceptos, hipótesis causales que, en sociología, se

leen bajo la idea lineal como relaciones de proporcionalidad entre variables; *c*) la implantación extensiva en sociología de los métodos y modelos cuasi-experimentales *post factum* con exigencias factoriales y causales (confirmatorios, modelos de ecuaciones estructurales, varianzas, regresión, logit.) que han dado origen a muchos tratamientos de naturaleza multivariada, y ello no sólo con variables manifiestas y continuas sino también con latentes y nominales sin pasar por las insuperables exigencias de imposibles laboratorios sociales; *d*) el gran desarrollo del análisis de datos dentro de una visión atributiva de la realidad social, especialmente de los métodos de descripción densa (clasificación, taxonomías, componentes, correspondencias, log-linear, análisis matricial, etc.), lo que ha permitido estudios de estructura, estratificación y movilidad sociales; *e*) aunque minoritarios en sociología, en estas décadas se han desarrollado métodos de naturaleza reticular como las redes sociales opuestos a la lógica atributiva, sea por métodos matriciales y/o por la teoría de grafos; *f*) se han dado también pasos importantes en los modelos propios del individualismo metodológico, la teoría de la decisión y de juegos incluso vinculados a modelos dinámicos y de difusión; *g*) la teoría de los sistemas no sólo ha puesto en el tapete las lógicas de los sistemas dinámicos sino también la teoría entrópica y de la información.

En estos años, especialmente desde mediados de los setenta, todos los métodos empleados en la sociología han experimentado una considerable convulsión computacional que ha significado la extensión y accesibilidad a procedimientos de cálculo antes imposibles, a pesar del estado teóricamente avanzado en que se encontraban las concepciones metodológicas, la automatización de los procesos, el tratamiento y análisis de la información y los datos.

4.2. *Nuevos retos para (y preocupaciones desde) la sociología*

Nuevos problemas y preguntas teóricas y empíricas que surgen de la observación y tratamiento de lo social suponen nuevos retos metodológicos en la concepción y construcción de métodos y modelos matemáticos: *a*) Un interés y necesidad crecientes por el análisis y formalización de la interacción social y, más en general, de los fenómenos microsociales hasta ahora dejados en gran medida en manos de fenomenólogos, interpretativistas y hermeneutas opuestos a la mínima formalización. *b*) Con respecto a la interacción social cobran especial importancia tres aspectos: i) la reconsideración de la unidad mínima de análisis que ha de superar la del individuo y desplazarse a la misma interacción, que es donde se genera el fenómeno social mínimo; ii) a

ello acompaña tanto el problema de la ubicación del origen referencial como de los límites del sistema social; iii) la función no sólo epistemológica sino también ontológica y metodológica de la implicación del propio investigador en su objeto de estudio. Todos estos aspectos no han sido resueltos adecuadamente dentro de una aplicación clásica de las matemáticas aunque sí han sido tratados por metodologías cualitativo-participativas, etnográficas y antropológicas. *c*) Todo ello supone que la misma concepción de las entidades sociales, en particular los sujetos sociales, no puede seguir pensándose: i) ni como entidades fijadas y estables en los procesos y contextos con los que interaccionan, ya que la representación del sujeto social no puede ser solamente la de un homúnculo estable en un sistema de acción que sigue reglas, normas o determinaciones, sino además, y sobre todo, la de un sujeto que actúa en situación; ii) ni tampoco como entidades esencialistas cuyos atributos interfieren con los atributos de otros agentes, constituyendo así la realidad social, dejando de lado el sujeto social como una entidad interactiva. *d*) Vinculadas a lo precedente se encuentran las relaciones macro-microsociológicas, temática básica sobre todo en los años noventa que plantea retos importantes a la sociología matemática: un aspecto particular de gran actualidad es la contextualización de las interacciones como parte decisiva de la identificación de la situación estudiada. *e*) Los fenómenos sociales que transcurren en la vida cotidiana escapan a la lógica férrea de presencia/ausencia, sí/no, verdad/falsedad (más allá incluso de atribuirles una probabilidad, algo ya bien asumido en sociología). Significa que han de ser encontradas y usadas otras lógicas. Tampoco parece aceptable que las formas de relación entre las variables que aparecen en las hipótesis y por ende en los modelos hayan de ser exclusiva o mayoritariamente lineales. *f*) Otro reto importante, que tiene que ver con la relación macro-micro, es el de la composición, consolidación o desagregación de lo social a partir de la interacción entre sujetos sociales. Habitualmente se trabaja con modelos de simple agregación estadística o por maximización y optimización de las utilidades. Otros modelos deberán ser ingeniados cuando se ponen en juego actividades, proyectos y/o estrategias, recursos, etc. *g*) Otro de los retos está en la forma de abordar los procesos evolucionarios sociales o temporales más allá de los estudios de series temporales o de análisis dinámicos. *h*) Los fenómenos sociales que podríamos catalogar como caóticos o como catástrofes son aún objeto de tratamiento minoritario dentro de los modelos habituales en sociología. *i*) Otra de las carencias de la sociología actual consiste en la ausencia de una respuesta formalizada a la creciente presencia e importancia que los procesos

cognitivos tienen en los sistemas de acción. La orientación cognitiva es aún marginal en sociología, excepto en las corrientes fenomenológicas. *j*) En estrecha relación con la temática cognitiva se encuentra el análisis del discurso. Si el análisis de contenido clásico ha sido habitual en sociología en el análisis e interpretación de entrevistas y de textos en general, sin embargo, ha sido reducida la dedicación al análisis del discurso y menos aún con una mínima orientación formalizadora. De nuevo se trata de un campo vedado para tratamientos que no sean interpretativistas. *k*) Otro de los hándicaps que arrastra la sociología es su limitación constitutiva y explicable a la aplicación del método experimental; el reto consistirá en el desarrollo de metodologías en que se pueda «ensayar con red», es decir, sin dañar al artista.

4.3. *Nuevas líneas de modelación matemática*

Cara a estos retos aparecen en escena nuevos «materiales» para la construcción de modelos. He aquí algunas líneas no exhaustivas que me parecen pertinentes y al mismo tiempo perturbadoras del *statu quo* con que mayoritariamente se trata lo social.

1) *El campo de la sociodinámica*, aunque fue ya objeto de tratamiento en las décadas anteriores a los años ochenta, es aún una joven y prometedora área interdisciplinar (Helbing 1985). Me refiero a la no-linealidad de lo social tratada por sistemas de ecuaciones de diferencia o diferenciales de tal forma que los estados de las variables dependientes evolucionan en el tiempo y/o en el espacio de acuerdo a leyes no lineales. Se trata de sistemas con pautas estacionarias de salida (que cambian con los parámetros del sistema) y con capacidad para desarrollar comportamientos caóticos, esto es, sistemas deterministas bajo ecuaciones de diferencias y/o diferenciales que pueden producir resultados fenomenológicamente indistinguibles del comportamiento aleatorio (Molenaar 1994; Griffiths y Oldknow 1993). Estos modelos son adecuados para el tratamiento de la interacción dada su naturaleza compleja y resistente a una elemental modelación, sobre todo si se originan efectos no proporcionales a las causas (Haken 1988); de fenómenos de no-equilibrio y de evolución temporal de sistemas inestables; de sistemas complejos compuestos de muchos elementos o subsistemas que interactúan entre sí; del caos y las catástrofes (Thom 1975; Zeeman 1977; Bai-Lind 1984; Hilborn 1994; McCauley 1993; Schauster 1988; Brown 1995; Molenaar 1994).

2) *El campo de la «socio-mecánica estadística»* supone una línea de modelación importante en la representación de la realidad social como agregación de sujetos según la lógica y los modelos de la mecá-

nica estadística. Aunque las ecuaciones estocásticas han proporcionado durante décadas instrumentos útiles y versátiles en la sociología, lo interesante es el tratamiento de las fases críticas y de transición, que son en las que se da el cambio fundamental en las propiedades del sistema. Lo importante no es tanto el comportamiento de cada sujeto aislado (por ejemplo de sus estados temporales) sino la distribución de los estados dentro del sistema. Para describir el cambio temporal de la distribución de estado no es necesario conocer al detalle qué elementos son los que experimentan algún cambio sino qué cantidad de elementos van a otros estados posibles por unidad de tiempo. Tales cambios están dados precisamente por las razones de transición, es decir, por la frecuencia por unidad de tiempo con que se llevan a cabo los cambios reales o inferidos dados por las probabilidades de transición con que ocurren los cambios de estado, del ocupado a otro disponible. La ecuación resultante de la evolución temporal de la distribución de estados es la ecuación «máster» que describe los procesos concretos dentro del sistema y que está formulada por un espacio de configuraciones de vectores que combinan los números de ocupación de todos los estados (Weidlich y Haag 1983, 1987, 1988; Helbing 1985, 1992, 1994).

3) *La teoría de juegos* tan presente en la microeconomía es pariente pobre de la sociología, con algunas excepciones, posiblemente por los supuestos rígidos que presenta para los fenómenos sociales (Croon y van de Vijver 1994). La teoría de juegos es de mayor interés para la sociología si se introduce la interacción entre múltiples sujetos (o grupos), lo que exige hipótesis más fuertes sobre los comportamientos si se desean previsiones precisas, si se trabaja con la incertidumbre y las probabilidades y en situaciones de información incompleta o imperfecta (Shubik 1991), si la interacción es repetida o iterativa con la introducción del tiempo, ya que los juegos dinámicos a partir de ecuaciones diferenciales son más realistas y, por fin, si los juegos son dinámicos o evolucionarios (Helbing 1985).

4) *Los modelos logísticos*. Los procesos de desarrollo temporal exponencial han sido ya asumidos desde hace tiempo. Pero lo interesante consiste en trabajar con procesos de recursos limitados caracterizados por las ecuaciones logísticas, es decir, ecuaciones que tratan procesos de saturación como el crecimiento de poblaciones, la difusión de información, de innovación, de rumores, de enfermedades.

5) *Redes sociales y teorías de conjuntos*. La teoría y los modelos de redes sociales han tenido un lugar y una historia de la primera sociología matemática que no tiene su correspondencia con la relativa marginación que ocupa hoy día en el conjunto de los usos y modelos

matemáticos en sociología. Su peso no es tampoco proporcional a la intuición y cercanía con que aborda los hechos sociales. Es como si en este campo se estuviera esperando una masa de dedicación sociológica suficientemente crítica como para dar el salto a una implantación y extensión definitiva y justificada en la academia. Su formalización a partir de la teoría de grafos o del cálculo matricial es un instrumento pertinente para el tratamiento de las relaciones sociales, formales e informales, fuertes y débiles, la estructura, el estatus y los roles sociales, los procesos de difusión e innovación, las instituciones y organizaciones, los grupos pequeños y más amplios así como su cohesión y estructura, etc. Estas reflexiones pueden extenderse también a otras álgebras que aparecen muy incipientemente en el quehacer sociológico como la teoría de grupos, el álgebra boleana, letices de Galois (Freeman y Douglas 1993). Tengo la sospecha de que estas líneas de modelación están aún en los albores de su desarrollo en la Sociología.

6) Otros caminos que necesitan ser aún más desarrollados en sociología son *la entropía y la teoría de la información*, sobre todo en el tratamiento del equilibrio, la estructuración y agregación (o desagregación) de sistemas. Aunque en una lógica atributiva y relativamente clásica dentro del análisis de datos, se trata también de profundizar y ampliar los tratamientos *tabulares* como el log-linear, escalas métricas, factoriales, ecuaciones estructurales, discriminantes, agrupaciones, covarianzas, etc., y *relacionarlos con otros modelos* como por ejemplo de las redes sociales (Burt 1992). En la misma dirección se situarían los modelos de *análisis multinivel*, uno de los intentos más interesantes que tiene en cuenta la influencia de distintos contextos o niveles sobre las variables dependientes (DiPrete y Forristal 1994).

4.4. *Un caso aparte de modelación, la simulación social*

La simulación de comportamientos humanos con la ayuda de programas de ordenador es otra forma de modelación, por lo demás muy actual. Puede ser concebida como un caso especial de cuasiexperimentación (Rapoport 1983; White 1997).

1) *¿En qué consiste?* La simulación consiste en reproducir artificialmente fenómenos sociales. En ella intervienen diversos elementos.

El sistema social (gráfico 6) que se desea modelar puede ser o una realidad social (un conjunto de actores, individuos o grupos, comportándose según unas pautas de interdependencia en vistas a adaptarse a las contingencias del entorno), o puede ser también un sistema teórico social. El modelo genérico es una representación, imagen o definición general y abstracta del sistema social. El lazo o vínculo de la re-

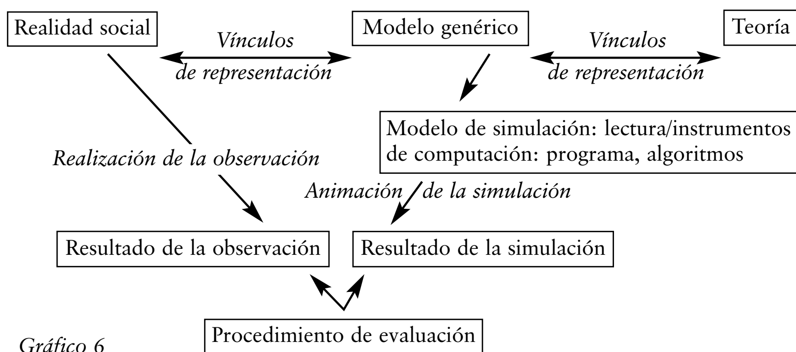


Gráfico 6

presentación es una función abstracta que proyecta los elementos y propiedades del sistema social en el modelo. El modelo de simulación está expresado e instrumentado en el lenguaje de un programa de ordenador. Los resultados observados son los de la realidad social y los esperados los obtenidos por «animación» o puesta en funcionamiento del modelo de simulación. Se ha de incorporar, además, una metodología de evaluación de la comparación entre ambos resultados. Los modelos se construyen y evalúan sólo con respecto a una realidad específica y a los propósitos prácticos y científicos a los que sirve (Seror 1994). Una vez construido el modelo se «pone en marcha», esto es, se ejecuta el programa, introducidos previamente los parámetros y datos. El objetivo primordial del uso de la simulación por ordenador consiste en su capacidad de asistencia al descubrimiento, comprensión y formalización de los hechos sociales (Doran y Gilbert, 1994).

2) *¿Qué razones específicas pueden existir para usar los modelos de simulación en vez de o junto con la modelación matemática habitual?* Los lenguajes de programación son más expresivos que los abstracto-matemáticos y más accesibles a los no especialistas, son más fáciles de construir y más aptos para sistemas sociales que tienen una mayor dinámica e interacción interna y externa con el sistema social (Gilbert y Troitzschk 1998). Esta «aptitud» para el tratamiento de lo social por los programas de simulación proviene: *a*) del hecho de que tratan más «cómodamente» los procesos paralelos y sin un orden perfectamente definido como pasa en los sistemas de ecuaciones matemáticas, y *b*) de que son más modulares, de tal manera que se pueden hacer más cambios en una parte sin necesidad de cambiar otras partes del programa. Son además modelos más flexibles y adaptables a la complejidad y a la incertidumbre de lo social y a los contrafactuales que pueden suponerse en la investigación (Taber y Timpone 1996).

3) *¿Cuales son las temáticas de interés para la modelación de los sistemas sociales?* A pesar de experiencias puntuales anteriores, los años ochenta marcan el inicio de la simulación social y los noventa su despliegue. Hoy día, aunque algo marginales en sociología, sobre todo a causa de los sociólogos, comienzan a ser un poderoso medio para comprender los procesos sociales. Evidentemente, los temas o contenidos más adecuados son los que tienen que ver con la interacción social y las relaciones entre entidades y contextos. La simulación introduce una nueva manera de tratar y pensar los procesos sociales que tienen que ver con la emergencia social en comportamientos complejos. La emergencia social se vincula a la teoría de la complejidad y aparece cuando las interacciones entre sujetos, grupos, objetos, etc., en un nivel dado, producen otros objetos o entidades en otro nivel; un fenómeno es emergente si requiere nuevas categorías para describir el comportamiento que las que se usan para describir las componentes subyacentes. Otro de los temas de la investigación en simulación que tiene que ver con la complejidad es la superación del supuesto de proporcionalidad en las relaciones entre variables; a veces, la sola manera de explorar o estudiar los sistemas no lineales es la simulación. Otra razón de interés de la simulación proviene de que puede ser aplicada a teorías o fenómenos que supongan localización espacial, lo que en la ciencia social tiene implicaciones importantes, como la localización de agentes en el paisaje simulado de una parrilla de un modelo autómata celular. La racionalidad puede ser modelada usando técnicas de inteligencia artificial (Gilbert y Troitzsch 1998). Otra de las temáticas importantes y tradicionales se encuentra en la aplicación al cambio y evolución de los sistemas sociales.

4) *¿Cuáles son los modelos de simulación más pertinentes y usados en sociología?* Muchos de los modelos de simulación tienen que ver con la descripción hecha de algunos de los modelos matemáticos más clásicos o con la mayor parte de las líneas de la nueva modelación (4.3) y, segundo, que casi todos responden a las problemáticas que significan retos importantes en la sociología actual (4.2): *a*) El ya comentado de los *sistemas dinámicos*. *b*) El enfoque de la *microsimulación* casi exclusivo en el campo de la sociología hasta mediados los años noventa. Consiste en atribuir a las unidades de un sistema probabilidades de transición de fase de estado y calcular la evolución del sistema según el modelo. Es un modelo sin pretensiones explicativas que trata más bien de predecir distribuciones futuras sin pretender modelar interacciones entre las unidades y sin tener además en cuenta intenciones y motivaciones. *c*) Los modelos «Autómata Celular», AC, vienen directamente de la física. La idea básica consiste en que

las propiedades de un sistema pueden modelarse simulando las interacciones entre las unidades componentes. Un modelo AC consiste en una amplia parrilla de células, cada una con un cierto número de estados que se adquieren de acuerdo a reglas que dependen solamente de los estados de las células vecinas. *d*) Otra aproximación de simulación social influida por ideas de la física es la de los *modelos multinivel*, que han tomado inspiración en las teorías sinergéticas originalmente desarrolladas en la física de la materia condensada o del estado sólido. *e*) Un campo de desarrollo importante es el de la simulación socia: sea el clásico de la *inteligencia artificial*, o sistemas expertos, etc., sea el de la *nueva inteligencia artificial,* redes neuronales, algoritmos genéticos, sistemas de clasificación, etc.: i) Los modelos de inteligencia artificial son simbólicos y están concernidos por la cognición (Doran y Gilbert 1994). Muchos sociólogos comienzan a ver la importancia que para la teoría y la investigación social tiene la inteligencia artificial en lo que se ha dado en llamar *inteligencia artificial social*. Consiste en la aplicación de las técnicas de la inteligencia artificial simbólica a los fenómenos sociales, tomando como modelo la simulación de la inteligencia humana. Hay dos orientaciones básicas. La primera, hacia la simulación de sociedades o grupos en organizaciones en que las unidades son actores inteligentes, *simulación social basada en agentes*. La inteligencia artificial que ha estado implicada casi en exclusiva con la modelación de la cognición individual, pero en los años ochenta se incrementa el interés por la *inteligencia artificial distribuida*, un campo en el que se tienen en cuenta las propiedades de la interacción (Gilbert y Troitzsch 1998). Segunda, hacia el análisis o uso de técnicas de la inteligencia artificial en la simulación de teorías (exigencias de rigor, generación de nuevas teorías), búsqueda inteligente de datos y su análisis. ii) Los *modelos de la nueva inteligencia artificial* están más orientados a la simulación de procesos de aprendizaje y a modelar sociedades que se adaptan en el tiempo a las nuevas circunstancias, p.e., las *redes neuronales artificiales* y los *algoritmos genéticos* junto con los *conjuntos borrosos* y las simulaciones del *caos* y de las *catástrofes*.

5) *La adecuación de la simulación social a la modelación de las sociedades humanas*. La sociedad está formada por unidades, o entidades, como individuos o sujetos sociales, relativamente complejos que interactúan entre sí en un entorno que en parte les determina y en parte contribuyen a construir, lo que supone una distribución entre los sujetos tanto de sus funciones como de los resultados y la estructuración de las interacciones, de la acción y de la cognición (Doran y Gilbert 1994). Los modelos de simulación social tratan de modelar

dicha dinámica y parecen, a primera vista, aptos para el tratamiento de lo social (Taber y Timpone 1994). Posibilitan el tratamiento de la incertidumbre de los fenómenos sociales; son más versátiles que los formales y por tanto aptos para conceptos teóricos difíciles de expresar por la matemática estándar; tienen gran capacidad de representar procesos complejos, no sólo predecirlos, y procesos contrafactuales; incluyen procedimientos explícitos para que el modelo sea accesible a (y replicable por) la comunidad científica; y son más llevaderos y menos costosos. Los modelos de simulación computacional tienen más impacto en sociología cuanto más bajo sea el umbral de la teoría que enmarque lo estudiado, cuanto más inalcanzables e inabordables sean los fenómenos sociales por otros métodos, como los métodos estadísticos y matemáticos clásicos, y cuanto más moldeables sean los fenómenos sociales a pequeños pasos en vistas a un total integrado.

6) *Algunas cuestiones básicas sobre validación, explicación, predicción y descripción, y procesos de simulación y analíticos*. Una interpretación importante desde la filosofía de la ciencia contemporánea es que la relación entre un modelo de cualquier tipo y la realidad representada es diversa. La validación en el sentido de la filosofía clásica desde una lógica empirista requiere la verificación de la correspondencia entre los elementos del modelo y el conjunto seleccionado de las entidades observables del sistema natural o social, pero, según Gross y Strand (2000), ésta no es la visión de muchos científicos y filósofos de la ciencia, que argumentan que un modelo puede ser útil aunque tal equivalencia estricta no sea llenada: un modelo explicativo (o heurístico) ayuda a clarificar supuestos e inferencias en los procesos de toma de decisión pero bajo ciertas circunstancias puede ser adecuado un modelo predictivo incluso aunque no pueda ser propiamente validado. El punto de vista de Popper, que supone que la verificación completa es imposible y que la sola manera de acercarnos a la verdad es negativamente y por eliminación del error, se ve favorecido por la simulación.

Los modelos descriptivos incrementan el realismo descriptivo pero continúan siendo un modelo, es decir, una simplificación. Los modelos explicativos, que son también representaciones de los procesos del mundo real, facilitan la explicación teórica en el sentido de que se focalizan sobre los procesos o caja negra de tal manera que podamos examinar los mecanismos que producen los resultados. Los modelos predictivos tratan los procesos como una caja negra sin pretender dar cuenta del isomorfismo con el comportamiento de la realidad, se focalizan sobre el resultado del modelo. Los modelos de simulación computación están diseñados, en conjunto, para describir, comprender o explicar y predecir los procesos sociales.

BIBLIOGRAFÍA

Abell, P. (1971), *Model Building in Sociology*, Schocken, New York.
Bailey, K. D. (1994), *Sociology and the New Systems Theory*, State University of New York Press, Albany, New York.
Bai-Lind, H. (1984), «Chaos, World Scientific Singapore», en R. C. Hilborn, *Chaos and Nonlinear Dynamics*, Oxford University Press, New York.
Bainbridge, W. S., Brent, E. E. *et al*. (1994), «Artificial Social Intelligence»: *Annual Review Sociology*, 20, 407-436.
Bartholomew, D. J. (1973), *Stochastic models for social processes*, John Wiley & Sons, London.
Berger, J., Zelditch, M., Jr. y Anderson, B. (eds.) (1966), *Sociological Theories in Progress*, 2 vols., Houghton-Mifflin, New York.
Blalock, H. M., Jr. (1964), *Causal Inferences in Non-experimental Research*, University of North Carolina Press, Chapel Hill.
Blalock, H. M., Jr. (1969), *Theory Construction: From Verbal to Mathematical Formulation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
Blalock, H. M., Jr., Aganbegian, A. A., Borodkin, F. M., Boudon, R. y Capecchi, V. (eds.) (1975), *Quantitative Sociology, International Perspectives on Mathematical and Statistical Modeling*, Academic, New York.
Blau, P. (1977), *Heterogeneity and Inequality: A Primitive Theory of Social Structure*, Free Press, New York.
Blumen, I., Kogan, M. y McCarthy, P. J. (1955), *The Industrial Mobility of Labor as a Probability Process*, Cornell University Press, Ithaca, New York.
Boudon, R. (1967), *L'Analyse mathématique des faits sociaux*, Plon, Paris.
Boudon, R. (1973), *Mathematical Structures of Social Mobility*, Elsevier, New York.
Boudon, R. (1981), «Generating models as a research strategy», en R. K. Merton, J. S. Coleman y P. H. Rossi (eds.), *Qualitative and Quantitative Social Research*, The Free Press, New York; Collier MacMillan, London, 51-63.
Bradley, W. J. y Schaefer Kuth, C. (1998), *The Uses and Misuses of Data and Models. The Mathematization of Human Sciences*, Sage Publications, Thousand Oaks, California.
Brown, C. (1995), *Chaos and Catastrophe Theories*, Sage Publications, Thousand Oaks, California.
Burt, R. S. (1992), *Structural Holes*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
Chomsky, N. (1957), *Syntactic Structures*, Mouton, The Hague.
Coleman, J. S. (1954), «An expository analysis of some of Rashevsky's social behavior models», en P. F. Lazarfeld (ed.), *Mathematical Thinking in the Social Sciences*, The Free Press, New York.
Coleman, J. S. (1964), *Introduction to Mathematical Sociology*, The Free Press, Glencoe, New York.
Coleman, J. S. (1968), «The mathematical study of change», en H. M. Blalock y A. B. Blalock (eds.), *Methodology in Social Research*, McGraw-Hill, New York, 428-478.

Coleman, J. S. (1973), *The Mathematics of Collective Action*, Aldine, Chicago.

Coleman, J. S. (1990), *Foundation of Social Theory*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Coleman, J. S., Katz, E. y Mezel, H. (1966), *Medical Innovation*, Bobbs-Merrill, Indianapolis.

Collins, R. (1994), *Four Sociological Traditions*, Oxford University Press, New York.

Croon, M. A. y van de Vijver, J. R. (1994), «Introduction», en Íd. (eds.), *Viability of Mathematical Models in the Social and Behavioral Sciences*, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse Berwyn, Pennsylvania, 13-29.

DiPrete, T. A. y Forristal, J. D. (1994), «Multilevel Models: Methods and Substances»: *Annual Review of Sociology* 20, 331-357.

Dodd, S. C. (1942), *Dimensions of Society: A Quantitative Systematics for the Social Sciences*, Macmillan, New York.

Dodd, S. C. (1955), «Diffusion is predictable: testing probability models for laws of interaction»: *Am. Sociol. Rev.* 20, 392-401.

Doran, J. y Gilbert, N. (1994), «Simulating societies: an introduction», en N. Gilbert y J. Doran (eds.), *Simulating societies. The computer simulation of social phenomena*, UCL Press, University College, London, 1-18.

Doreian, P. (1970), *Mathematics and the Study of Social Relations*, Weidenfeld and Nicolson, London.

Ducan, O. D. (1975), *Introduction to Structural Equation Models*, Academic Press, New York.

Fararo, T. J. (1973), *Mathematical Sociology*, John Wiley & Sons, New York.

Fararo, T. J. (1984*a*), «Mathematical Ideas and Sociological Theory»: *Journal of Mathematical Sociology* 10 (número especial).

Fararo, T. J. (1984*b*), «Neoclassical Theorizing and Formalization in Sociology», en Íd. (ed.), *Mathematical Ideas and Sociological Theory. A Special Issue of the Journal of Mathematical Sociology*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 10 (3-4), 361-393.

Fararo, T. J. (1997), «Reflection on Mathematical Sociology»: *Sociological Forum* 12 (1), 73-191.

Fararo, T. J. (2000), «Theoretical Sociology in the 20th Century»: *Journal of Social Structure*, vol. 2.2.

Freeman, L. C. (1984), «Turning a profit from mathematics: The case of social networks»: *Journal of Mathematical Sociology* 10, 334-360.

Freeman, L. C. y Douglas, W. R. (1993), «Using Galois Lattices to Represent Network Data», en P. V. Marsden (ed.), *Sociological Methodology*, Blackwell, Oxford, 127-146.

Giere, R. N. (1988), *Explaining Science*, The University of Chicago Press, Chicago.

Giere, R. N. (1991), *Understanding scientific reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, Fort Worth, Chicago.

Gilbert, G. N. (1981), *Modeling Society*, George Allen & Unwin, London.

Gilbert, G. N. y Doran, J. (eds.) (1994), *Simulating societies. The computer simulation of social phenomena*, UCL Press, University College, London.

Gilbert, G. N. y Troitzsch, K. G. (1998), *Simulation for the Social Scientist*, Open University Press, London.
Granovetter, M. S. (1973), «The strength of weak ties»: *American Journal of Sociology* 78, 1360-1380.
Griffiths, H. B. y Oldknow, A. (1993), *Mathematics of Models*, Ellis Horwood, New York.
Gross, D. y Strand, R. (2000), «Can Agent-Based Models Assist Decisions on Large-Scale Practical Problems? A Philosophical Analysis. Use of Microstructurally Complex Models»: *Complexity* 5 (6), 26-33.
Gurnah, A. y Scorr, A. (1992), *The uncertain science. Criticism of sociological formalism*, Routledge, London/New York.
Guttman, L. (1979), «Malos usos en estadística. (What is not what in statistic)»: *REIS* 6, 101-127.
Haken, H. (1988), *Information and Self-organization: A Macroscopic Approach to Complex Systems*, Springer, Berlin.
Harary, F., Norman, R. y Cartwright, D. (1965), *Structural Models*, John Wiley and Sons, New York.
Hayes, A. C. (1984), «Formal Model Building and Theoretical Interests in Sociology», en T. J. Fararo (ed.), *Mathematical Ideas and Sociological Theory. A Special Issue of the Journal of Mathematical Sociology*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 10 (3-4), 325-342.
Helbing, D. (1985), *Quantitative Sociodynamics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
Helbing, D. (1992), «A mathematical model for behavioral changes by pair interactions», en G. Haag, U. Muller y K. G. Troitzsch (eds.), *Economic Evolution and Demographic Change. Formal Models in Social Science*, Springer, Berlin, 330-348.
Helbing, D. (1994), «A mathematical model for behavioral changes by pair interactions and its relations to game theory»: *Angewandte Sozialforschung*, 18 (3), 117-132.
Hilborn, R. C. (1994), *Chaos and Nonlinear Dynamics*, Oxford University Press, New York.
Hummon, N. P., Doreian, P. y Teuter, K. (1975), «A structural model of organizations»: *Am. Sociol. Rev.* 36, 297-303.
Kendall, P. y Lazarsfeld, P. F. (1950), «Problems of survey analysis», en R. K. Merton y P. F. Lazarsfeld (eds.), *Continuities in Social Resarch*, The Free Press, New York.
Kim, K. H., Roush, F. W. e Intriligator, M. D. (1992), «Overview of Mathematical Social Sciences»: *The American Mathematical* 99 (9), 838-844.
Koene, P. y Vossen, J. M. H. (1994), «A Catastrophe Model of Approach-Avoidance Conflict», en M. A. Croon y J. R. van de Vijver (eds.), *Viability of Mathematical Models in the Social and Behavioral Sciences*, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse Berwyn, Pennsylvania, 33-53.
Landau, H. G. (1951), «On dominance relations and the structure of animal societies: 1. Effect of inherent characteristics»: *Bulletin of Mathematical Biophysics* 13, 1-19.

Lave, Ch. A. y March, J. G. (1975), *An Introduction to Models in the Social Sciences*, Harper & Row, New York.
Lazarsfeld, P. F. (ed.) (1954), *Mathematical Thinking in the Social Sciences*, The Free Press, New York.
Lazarsfeld, P. F. y Henry, N. W. (1968), *Latent Structure Analysis*, Houghton Mifflin, Boston.
Leik, R. K. y Meeker, B. F. (1975), *Mathematical Sociology*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
Lévi-Strauss, C. (1963 [1958]), *Structural Anthropology*, Basic Books, New York.
Lotka, A. J. (1939), *Théorie analytique des associations biologiques*, 2 vols., Herman, Paris.
Mäki, D. P. y Thompson, M. (1973), *Mathematical Models and Applications*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
Mapes, R. (1971), *Mathematics and Sociology*, B.T. Batsfors Ltd., London.
McCauley, J. L. (1993), *Chaos, Dynamics and Fractals*, Cambridge University Press, Chicago.
McFarland, D. D. (1974), «Notes on the history of mathematization in sociology: antecedents, institutionalization and growth». Presentado en *the Eighth World Congress International Sociology Associacion*, agosto, mimeo.
Molenaar, I. W. (1994), «Why Do We Need Statistical Models in the Social and Behavioural Sciences?», en M. A. Cronn y J. R. van de Vijver (eds.), *Viability of Mathematical Models in the Social and Behavioral Sciences*, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse Berwyn, Pennsylvania, 101-112.
Montroll, E. W. y Badger, W. W. (1974), *Introduction to Quantitative Aspects of Social Phenomena*, Gordon and Breach, New York.
Mulaik, S. A. (1994), «The critique of pure statistics: artifact and objectivity in multivariate statistics»: *Advances in Social Science Methodology* 3, 247-296.
Newell, A. y Simon, H. A. (1972), *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
Olinik, M. (1978), *An Introduction to Mathematical Models in the Social and Life Science. Reading*, Addison-Wesley, Reading, Mass.
Platt, J. (1996), *A History of Sociological Methods in America 1920-1960*, Cambridge University Press, Cambridge.
Rapoport, A. (1951), «Net with distance bias»: *Bulletin of Mathematical Biophysics* 13, 85-91.
Rapoport, A. (1953), «Spread of information through a population with sociostructural basis»: *Bulletin of Mathematical Biophysics* 15, 523-534.
Rapoport, A. (1956), «The diffusion problem of mass behaviour»: *General Systems Yearbook* 1, 48-55.
Rapoport, A. (1957), «Contributions to the theory of random and biased nets»: *Bulletin of Mathematical Biophysics* 19, 257-277.
Rapoport, A. (1960), *Fight, Games and Debates*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
Rapoport, A. (1983), *Mathematical Models in the Social and Behavioral Sciences*, John Wiley & Sons, New York.

Rapoport, A. y Horvath, W. J. (1961), «A study of a large sociogram»: *Behavioral Science* 6, 279-291.
Rashecsky, N. (1959), *Mathematical Biology of Social Behavior*, University of Chicago Press, Chicago.
Rashed, R. (1973), *Condorcet. Mathématique et société*, Hermann, Paris.
Saaty, T. L. y Joyce, A. M. (1981), *Thinking With Models*, Pergamon Press, Oxford.
Saussure, F. de (1966 [1915]), *Course in General Linguistics*, McGraw-Hill, New York.
Schuster, P. (1988), *Deterministic Chaos*, Physik Verlag; 3.ª ed. aum., VCH, Weinheim.
Séror, A. C. (1994), «Simulation of complex organizational process: a review of methods and their epistemological foundations», en N. Gilbert y J. Doran (eds.), *Simulating societies. The computer simulation of social phenomena*, UCL Press, London, 19-40.
Shubik, M. (1991), *Théorie des Jeux et Sciences Sociales*, Economica, Paris.
Simon, H. (1957), *Models of Man*, Wiley, New York.
Simon, H. (1979), «The meaning of causal ordering», en R. K. Merton, J. S. Coleman y P. H. Rossi (eds.), *Qualitative and Quantitative Social Research: Papers in Honor of Paul F. Lazarsfeld*, The Free Press, New York.
Sorensen, A. B. (1978), «Mathematical Models in Sociology»: *Ann. Rev. Sociol.* 4, 345-434.
Taber, C. S. y Timpone, R. J. (1996), *Computational Modeling*, Sage University, London.
Thom, R. (1975), *Structural Stability and Morphogenesis*, Bejamin Reading, Mass.
Travers, J. y Milgram, S. (1969), «An experimental study of the small world problem»: *Sociometry* 32, 425-443.
Walliser, B. (1977), *Systèmes et modèles*, Seuil, Paris.
Watson, H. W. (1874), «On the probability of the extinction of families»: *J. Anthropology Inst.* 4, 138-144.
Weidlich, W. y Haag, G. (1983), *Concepts and Models of Quantitative Sociology. The Dynamics of Interacting Populations*, Springer, Berlin.
Weidlich, W. y Haag, G. (1987), «A dynamic phase transition model for spatial agglomerations process»: *Journal of Regional Science* 27 (4), 529-569.
Weidlich, W. y Haag, G. (1988), *Interregional Migrations*, Springer, Berlin.
White, H. (1963), *An Anatomy of Kinship: Mathematical Models for Structures of Cumulated Roles*, Prentice-Hall, New York.
White, H. (1970), *Chains of Opportunity: System Models of Mobility in Organizations*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
White, H. (1997), «Can Mathematics Be Social? Flexible Representations for Interactions Process and Its Sociocultural Constructions»: *Sociologic Forum* 12 (1), 53-71.
Wilder, R. L. (1965), *Introduction to the Foundations of Mathematics*, Wiley, New York.
Wilson, T. P. (1984), «On the role of Mathematics in the Social Sciences», en T. J. Fararo (ed.), *Mathematical Ideas and Sociological Theory. A Special*

Issue of the Journal of Mathematical Sociology, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 10 (3-4), 221-239.
Zeeman, E. C. (1977), *Catastrophe Theory*, Adison-Wesley, London.
Zetterberg, H. (1964), *Theory and Verification in Sociology*, The Bedminster Press, Torowa, New Jersey.
Zetterberg, H. L. (1965), *On Theory and Verification in Sociology*, The Bedminster Press, Totowa, New Jersey.

LA ANTROPOLOGÍA: CIENCIA DE LA ALTERIDAD

Esteban Krotz

1. CONTACTO CULTURAL Y PREGUNTA ANTROPOLÓGICA[1]

Desde que han existido sociedades humanas diferenciadas también se ha dado una de las experiencias más inquietantes y enriquecedoras a la vez: *el contacto cultural*. Éste ha estado limitado para la mayor parte de la gente casi siempre a un pequeño número de pueblos vecinos. Los primeros encuentros documentados entre europeos y americanos a fines del siglo XV y principios del siglo XVI pueden ser vistos como arquetipo de esta experiencia y de la formulación de la *pregunta antropológica* correspondiente, para la cual se tiene que aceptar a «los otros» *como tales*, es decir, como *diferentes e iguales* a la vez. Sólo así se puede plantear la *pregunta antropológica* de la que aquí se trata, que es distinta de la de la antropología filosófica y que se ha convertido en el fundamento de una ciencia social empírica particular, diferente de las demás: la ciencia antropológica (Krotz 2002, 49 ss.).

Lo anterior implica que tal pregunta antropológica puede ser obviada. Esto último sucede cuando se mata o se esclaviza a «los otros», negándoseles su condición humana de modo semejante a como cuando se les concibe como parte del reino animal (hay que recordar aquí la frecuencia con la que la autodenominación de pueblos significa simplemente «seres humanos» o algo similar). Otra manera de obviar la pregunta antropológica resulta de la adscripción de los «otros» al reino de lo sobrenatural. Así, aunque no pocos de los primeros europeos se creían transportados a una región paradisíaca por la belleza de su naturaleza y la hospitalidad de sus habitantes, durante mucho

1. Agradezco a Roberto Varela sus comentarios a una versión previa de este texto.

tiempo prevalecía la calificación del continente americano como territorio del demonio y de los indios como sus criaturas. Los pocos testimonios que nos han llegado de la «visión de los vencidos» mesoamericanos (León-Portilla 1972; Bestard y Contreras 1987, 319 ss.) de aquel tiempo, muestran que los americanos tuvieron que despojarse del mismo tipo de ideas para, en vez de considerar a los intrusos seres monstruosos o divinos, enfrentarlos finalmente como *iguales y diferentes* a la vez.

Una vez excluida la pertenencia de los «otros» a los mundos infra o sobrehumano, se está en el ámbito de la pregunta por la amplitud y profundidad de las diferencias y de las semejanzas entre los grupos humanos, por los orígenes de éstas y por sus causas, por su historia y sus transformaciones futuras; es siempre también la pregunta por la posibilidad de «traducir» las otras culturas a los términos de la propia (y, a veces, la propia a los de la otra). Hay que subrayar aquí que esta pregunta antropológica no se ocupa de las diferencias que derivan de la unicidad de cada individuo humano, sino de aquellas que resultan de la *pertenencia* de una persona o grupo a una determinada sociedad, distinta siempre de las demás sociedades. Es una pregunta que se dirige hacia *los «otros»*, pero que rebota en *lo propio*, ya que necesariamente compara y a veces llega a cuestionar a este último, si bien muchas otras refuerza el sentido de superioridad del colectivo del cual es miembro quien la formula. Aunque acto fundamentalmente intelectual, la pregunta antropológica está atravesada por fuertes emociones, porque lo diferente puede provocar rechazo y miedo, asco y desprecio, pero igualmente atraer y fascinar, despertar anhelos profundos, nutrir sueños utópicos y generar deseos de conocer más. Finalmente, es siempre también la pregunta por los criterios de actuación pertinentes frente a las diferencias socioculturales observadas y a las personas que las representan y reproducen.

Ha sido señalado con razón que la primera globalización, la del siglo XVI, contiene las raíces tanto de la era como de la antropología modernas. Pero hubo que esperar todavía tres siglos para que la civilización noratlántica experimentara plenamente una calidad realmente inédita de otredad, o sea, hasta que madurara lo que se inició con los primeros viajes alrededor del globo. La emergencia de la civilización industrial —urbana, alfabeta, agudamente estratificada sobre la base de la propiedad privada de los medios de producción, con sus revolucionarios medios de comunicación masiva, desde el barco de vapor y el ferrocarril hasta el telégrafo y los periódicos— produjo en casi toda la población de la península europea y sus principales áreas de emigración la experiencia, directa o indirecta, de encontrarse frente a

una cantidad hasta entonces inconcebible de culturas y sociedades, una más disímbola de la propia que la otra (Krotz 2002, 217 ss.). Estas colectividades se hallaban, ante todo, en las áreas de «descubrimiento» y ocupación forzada en *ultramar*, pero igualmente en los apartados rincones rurales, selváticos y costeros del *interior de la propia patria* y en las *épocas remotas* de la historia europea y del Circunmediterráneo. Como consecuencia, se pasó cada vez más de la *experiencia bipolar y centrada en unos pocos «otros»*, hasta entonces típica del contacto cultural, a la conciencia de estar en medio de *un mundo esencialmente caracterizado por la diversidad sociocultural*. Los primeros sistematizadores de los testimonios de esta asombrosa diversidad se convirtieron en los ancestros de la ciencia antropológica. Muchos de ellos tomaron parte, en algún momento de su vida, en la recolección de datos etnográficos, pero su tarea principal fue el paciente y minucioso estudio de lo que generaciones anteriores habían apilado en museos y bibliotecas y de lo que sus contemporáneos casi a diario estaban agregando.

La antropología naciente abordaba esta diversidad en tanto *ciencia* social. Es decir, se aproximaba a la pregunta antropológica con distancia explícita de los tratamientos tradicionales de la teología, la filosofía, la utopía y otras formas de conocimiento, definiendo como único punto de partida válido la observación de la realidad sociocultural «empírica». Las manifestaciones materiales de la misma y lo reportado por los viajeros fueron analizados bajo la *perspectiva de la alteridad*, convirtiéndose ésta en la *categoría central* de la disciplina, que desde entonces la distingue de las demás ciencias sociales. En el concepto de *cultura*, uno de los más tempranamente definidos y luego debatidos intensamente a lo largo del desarrollo de la disciplina[2], se aprecia una tensión intrínseca, a la que vuelve visible dicha categoría. Característica típica y exclusiva de la especie humana, la cultura no existe como *una*, sino solamente como *muchas* en el tiempo y el espacio: el *uni*verso de la especie humana es el *multi*verso de las culturas y sociedades. Y es con la referencia constante a este multiverso como la antropología estudia a las sociedades y a cualquier fenómeno sociocultural, incluso cuando en su más típico proceder investigativo la observación participante prolongada de grupos relativamente pe-

2. Kahn (1975) ha reunido una colección representativa de textos clásicos sobre el concepto de cultura; resumidas visiones sobre la temática ofrecen, entre muchos otros y desde puntos de vista diferentes, Rudolph (1983), Luque (1985, 84-128), Neufeld (1986), Friedmann (1994, 67-101), Wimmer (1997), Shweder (2001) y Kuper (2001).

queños se ocupa sólo de un pequeño segmento particular y siempre único de la realidad sociocultural[3].

Aunque esta perspectiva común se puede reconocer claramente en las grandes realizaciones de lo que hoy es aceptado comúnmente como comienzo de la disciplina científica, ésta no nació en todas partes con este nombre. Más bien estamos en la segunda mitad del siglo XIX ante un aglomerado de diferentes y desfasados esfuerzos cognitivos y campos de especialización del análisis social empírico, que privilegiaban de modo variado una o más de las tres fuentes mencionadas de la otredad; se centraban más en uno u otro ámbito sociocultural (como la lengua, la religión, el parentesco, la tradición oral o algún aspecto de la llamada cultura material) o dirigían su atención a sociedades enteras; atendían más una época, tipo de sociedad o región que otras o trataban de abarcar el conjunto de todas ellas; se interesaban más por las peculiaridades físicas, las psíquicas, las sociales o las materiales de los grupos humanos; y utilizaban términos de autoidentificación tan diferentes a primera vista como antropología, etnología, etnografía, historia de la cultura, folklore, psicología de los pueblos, antropogeografía, etc., para nombrar al nuevo campo de estudio científico y a las asociaciones emergentes de especialistas. En cierto sentido, esta situación se prolonga hasta el día de hoy, pues los programas de los grandes congresos internacionales y los anaqueles de las bibliotecas antropológicas ofrecen una imagen perturbadora en cuanto a amplitud y variación de los fenómenos socioculturales abordados por la disciplina en todas las épocas y áreas del mundo, por lo que con frecuencia un(a) autor(a) o conferenciante antropólogo(a) —a diferencia de sus colegas de cualquier otra disciplina social— se ve ante la necesidad de explicar, antes de poder entrar en materia, las características y el ámbito de su ciencia.

2. LOS INICIOS: LA CIENCIA DE LA EVOLUCIÓN SOCIOCULTURAL

Puede entenderse, pues, el nacimiento de la antropología científica —cuya culminación constituye la creación de las primeras cátedras universitarias europeas y norteamericanas en antropología, aunque éstas no siempre llevaban ya este nombre— como un proceso de «cientifización» de la pregunta antropológica arriba explicada[4]. Desde lue-

3. Para una reciente presentación de este camino investigativo, cf. Guber (2001).

4. Información general sobre este proceso y su resultado ofrecen los capítulos o apartados correspondientes de historias de la antropología como las de Harris (1968), Mercier (1969), Kaplan y Manners (1979) o Tokarev (1989); cf. también Palerm (1976).

go, este proceso se desarrolló con variadas características, velocidad y articulaciones con las demás ciencias sociales y humanas, dependiendo de las particularidades de los diferentes modelos de expansión colonial, integración nacional y transformación del sistema universitario en cada país y/o área lingüístico-cultural de la civilización noratlántica. La unión de las cuatro ramas de la arqueología, la antropología física (o bioantropología), la lingüística antropológica y la antropología social/etnología (que incluye la llamada etnohistoria) en la tradición americana, que contrasta con la separación de la *Volkskunde* (el estudio de las culturas populares propias) de la *Völkerkunde* (el estudio de las culturas exóticas de ultramar) en la tradición centroeuropea[5], está entre los ejemplos más conocidos de estas variaciones. También puede mencionarse en este sentido el lugar largamente indefinido de los estudios del «folklore» o de «las culturas populares» y la disparidad entre la temprana y fuerte presencia de la antropología social en las universidades del imperio británico y la diferenciación académica más tardía de la antropología de habla francesa.

En todos los casos, la cientifización de la pregunta antropológica se desarrolló a la sombra de la idea de la *evolución*, fuertemente presente en el mundo intelectual desde fines del siglo XVIII y sumamente arraigada bajo la forma de la celebración esperanzada del «progreso» por la población europea, incluso por las principales víctimas del mismo. No obstante que dicha idea se había cultivado originalmente con respecto a los fenómenos humanos (recuérdese solamente a Vico, Herder, Condorcet, Diderot y Hegel), fue la versión darwiniana la que se convirtió finalmente en su expresión más influyente —a pesar de que su autor había encontrado el impulso decisivo para ella en la obra de Malthus sobre el futuro de la especie humana y extraído su famosa fórmula de la «sobrevivencia del más apto» de un texto de Spencer—. Y aunque muchas de las principales obras antropológicas decimonónicas se publicaron en los años sesenta del siglo antepasado, y pese a que todavía tiempo después algunos de los antropólogos más influyentes de la época marcaban su distancia con respecto al todavía controvertido darwinismo, las ciencias naturales se convirtieron rápidamente en *el* representante del nuevo modo «inductivo» de conocer, tan ensalzado por Comte como definitivamente verdadero. El que Darwin incorporara doce años después de la primera aparición del *Origen de las especies* explícitamente a los seres humanos en su es-

5. Ésta es retomada en la segunda mitad del siglo XX de modo más general en Europa para distinguir entre una etnología «del interior» del continente y otra que atiende a su «exterior»; cf. al respecto Gerndt (1988).

quema habrá contribuido tanto como los intentos defensivos del neokantianismo por sustraer al ámbito de lo humano del abordaje por parte de las nuevas ciencias naturales, a que hasta el día de hoy sea frecuente que la palabra ciencias se reserve para las naturales y excluya a las sociales y humanas.

La antropología establecida como ciencia «positiva» hacia finales del siglo XIX se dedicó, como ya se mencionó, ante todo al *inventario* y la *sistematización* de los testimonios acumulados de la diversidad sociocultural pasada y presente, lo que implicaba la descripción detallada y, hasta donde era posible, también la medición, luego la clasificación y la comparación de los más diversos elementos anatómicos, materiales, lingüísticos, etc., generados por las sociedades humanas encontrados en todas las regiones y épocas históricas del planeta; pronto, empero, los antropólogos no se contentaron con esta clase de materiales y empezaron a buscar información específica (ante todo, mediante guías de observación para viajeros, cuestionarios enviados a misioneros y administradores y finalmente también mediante la organización de expediciones y excavaciones especiales).

En todo eso, la atención principal se dirigía directamente hacia lo otro, hacia «los otros», pero inevitablemente lo propio —la sociedad noratlántica en cuanto moderna, o sea, nacional, burguesa, industrial, ciudadana, incipientemente republicana y científico-racional de los primeros antropólogos— estaba presente también, porque no se podía estudiar el campo rural, la historia remota y la vida exótica en ultramar sin tener de algún modo como referente implícito o explícito la vida en las ciudades del industrialismo avanzado del siglo XIX noratlántico. En cuanto a las culturas examinadas, se nota una clara predilección por los llamados «primitivos», las «culturas tempranas» u «originarias» y sus restos en el mismo continente europeo[6] y en las demás partes del mundo; por tanto, se ubicaba a los «salvajes», considerados como eslabón entre la naturaleza y la civilización, a veces en la última sala del museo de historia natural, a veces en la primera del de historia nacional...

Pero esta multiplicidad de culturas, sociedades y rasgos socioculturales tan diferentes los unos de los otros también tenía que ser *explicada* en términos causa-efecto, para lo cual se recurrió a las llamadas leyes de la evolución. Precondición para la formulación de lo que podría describirse como «paradigma evolucionista» (a pesar de su reconocimiento de la importancia de los procesos de difusión, centra-

6. No está por demás recordar aquí el aprecio de la tradición romántica por los «bárbaros» de la sociedad propia.

do en los de invención independiente) resultó la llamada *unidad psíquica de la humanidad*. Así se anteponía por principio la igualdad a la diferencia o, más bien, se entendía a la segunda a partir de la primera. En consecuencia, se distribuían las sociedades y los rasgos culturales existentes sobre un continuo imaginado, calificando las diferencias entre ellos como únicamente de *grado* y *no de esencia*. Esto implicaba que la diversidad sociocultural existente era generada por la *velocidad desigual y variable del avance natural* de todos los fenómenos humanos hacia una misma meta —de un modo semejante a como en el desarrollo de los seres humanos se observan variaciones en cuanto a alcanzar determinada etapa de la vida que, sin embargo, se presenta inevitablemente, a no ser que el individuo en cuestión deje de existir antes.

Al igual que para las demás ciencias sociales, uno de los principales retos de la antropología naciente consistía en la determinación unívoca de su ámbito particular, o sea, de «lo social» como tal, cualitativamente distinto del de la biología y del de la psicología. Lo que Durkheim realizó de modo abstracto en sus famosas *Reglas* y ejemplificó con datos tomados de la Francia de su tiempo en *El suicidio*, fue abordado en la antropología de manera diferente, por ejemplo, mediante la demostración de las llamadas «sobrevivencias», que explicaban determinadas instituciones y rasgos culturales como resultado de condiciones económicas, sociales y políticas ya desaparecidas[7]. En descripción y explicación, la vida-en-sociedad, investigada mediante la categoría de alteridad, era invariablemente *una vida-en-una-sociedad-entre-otras*, diferentes cada una de todas las demás.

Sin embargo, la opción por el modelo evolutivo como primer marco general del análisis antropológico científico tuvo dos costos importantes, que encontramos todavía hoy en muchas ideologías del «desarrollo». Por una parte, el esquema de la evolución sociocultural se volvió —a diferencia del darwiniano— teleológico, ya que la sociedad civilizada no solamente marcó para muchos autores algo así como el «fin de la historia», sino que también se convirtió en instrumento de medición de toda sociedad que era calificada en términos de *lo que le faltaba* para alcanzar la madurez definitiva. Por otra parte, el utilizar en el análisis a culturas específicas como «tipos», o sea, como representantes de determinadas etapas evolutivas, reforzó la idea de que las sociedades y culturas eran por principio perdurables, internamente homogéneas y de límites claramente definidos; obviamen-

7. Entre los ejemplos más conocidos están los de Bachofen (1975) y de McLennan (1970).

te, esta concepción reflejaba y al mismo tiempo nutría los procesos políticos europeos de entonces, que postulaban la existencia natural de naciones como entidades de larga duración y coherentemente integradas con respecto a las esferas del sustrato biológico-racial, el territorio ocupado, la lengua y el espíritu colectivo y la historia comunes.

3. REINICIOS Y DESARROLLOS EN EL SIGLO XX

Paradójicamente, la exitosa historia de la ciencia antropológica en el siglo XX —en términos del crecimiento numérico de las comunidades de científicos y profesionales de la disciplina y de sus instituciones, de la generación de conocimientos sobre los más variados aspectos de la vida humana en el planeta y en cuanto a su presencia en los ámbitos académico y político de muchos países— se dio a pesar de que nunca más se volvió a dar un período de «ciencia normal» como el inicial (Krotz 1998, 38 ss.). Más bien, en el momento de la consolidación del paradigma evolucionista empieza un proceso de fragmentación múltiple que se ha venido intensificando más y más, entrecruzándose distanciamientos y re-aproximaciones según *propuestas paradigmáticas rivales*, según comunidades *lingüístico-culturales* con sus respectivos sistemas universitarios, según *subdisciplinas antropológicas* y según la ubicación espacial y/o temporal del *objeto del estudio empírico específico* habitual o principal. En parte se trata del normal proceso de complejización científica, pero también ha sido una característica de la antropología definirse frecuentemente «en crisis» e intentar cada cierto tiempo la re-fundación de la disciplina entera sobre las ruinas de un pasado rechazado, con el cual, sin embargo, sigue habiendo siempre muchas ligazones y continuidades.

Tres son los primeros reinicios de este tipo, casi simultáneos y enfrentados entre sí, pero unidos en el mismo *rechazo global del evolucionismo decimonónico* en la antropología (término que se referirá de aquí en adelante principalmente a la antropología social/cultural o etnología, aunque no poco de lo sucedido en esta rama más productiva y más conocida de la ciencia antropológica puede observarse también en las restantes). Con comienzos que se ubican ya a fines del siglo XIX, pero que maduran durante las primeras décadas del siglo XX, tanto el llamado difusionismo (especialmente su versión de historia cultural o escuela alemana o vienesa) como la llamada antropología norteamericana (también denominada escuela boasiana o culturalismo) y la antropología social británica (también llamada estructural-funcionalismo) no solamente impugnan aspectos aislados del evolucionismo

decimonónico, sino que incluso niegan su carácter científico (por la calidad y cantidad insuficientes de su *base empírica*, por su *incapacidad de explicar cambios* progresivos específicos en sociedades concretas y por el *etnocentrismo* patente de su unilinealidad teleológica); paradójicamente es la cada vez más extensamente practicada investigación de campo, posible de modo regular sólo después de la institucionalización universitaria de la antropología, la que propicia enormemente estas críticas.

En su modelo sustitutivo, la mencionada *escuela histórico-cultural alemana* y el *difusionismo en general* proponen limitarse al único proceso empíricamente demostrable, a saber, el *desplazamiento espacial en tiempo real* de pueblos enteros y de rasgos culturales determinados, ofreciendo, por tanto, una explicación sencilla y sugerente de la diversidad universal y de configuraciones y rasgos culturales concretos que se basa, ante todo, en la incesante influencia de unas sociedades sobre otras[8].

A su vez, y apoyándose parcialmente en esta propuesta, *la antropología norteamericana de la época* concibe a toda sociedad o cultura como una *creación única de la historia humana*, cuya constitución específica resulta de la combinación inconfundible de su dinámica propia particular (que a veces es analizada con relación a los factores limitantes del medio ambiente natural) y de las influencias de otras culturas incorporadas según esta dinámica. En sus formulaciones más extremas se defiende, no sin influencia de ideas neokantianas, la antropología como una *ciencia histórica*, diferente de, y opuesta a, la ciencia a modo de las ciencias naturales. Esta concepción pretende hacer justicia al estatuto ontológico cualitativamente distinto del fenómeno sociocultural de la realidad no humana, por lo que se descubren relaciones causales no a través de la comparación sistemática de los datos que lleva a leyes generales, sino en la documentación de los «estilos» siempre particulares en el panorama de las sociedades humanas[9].

En contraposición, y a pesar de su vehemente crítica al proceder y las concepciones básicas de los próceres decimonónicos, *el llamado estructural-funcionalismo* (ante todo británico, pero con raíces, representantes y seguidores en varios países del continente europeo)

8. Ver para esto, además de los apartados pertinentes de las historias mencionadas en la nota anterior, las partes correspondientes de las obras de Lowie (1974) y Palerm (1977).

9. Introducen en esta perspectiva, en la que se reconoce la oposición entre ciencias nomotéticas e idiográficas, los textos de Boas, Kroeber, Lowie incluidos en la antología editada por Bohannan y Glazer (1997).

mantiene bastante fielmente el ideal científico-natural del evolucionismo[10]. Sin embargo, su modelo organicista busca debajo de las superficies culturales consideradas más bien accidentales un modelo general de *funcionamiento y de reproducción del sistema social* como tal, reconociendo en ocasiones la existencia de un reducido número de variantes del mismo; la teoría general de los sistemas se convierte posteriormente en un apoyo importante y un puente hacia los enfoques neoevolucionistas. El estructuralismo levistraussiano enfoca la realidad de un modo similar, pero vinculándola causalmente con las características invariantes de la mente humana[11].

La relativa rigidez de los fundadores de cada una de estas tres «escuelas», de las que la segunda y la tercera compartían la hegemonía entre las dos guerras mundiales, fue reblandecida por las generaciones siguientes, que incorporaron poco a poco elementos nuevos y aun originalmente considerados incompatibles (como, por ejemplo, la perspectiva histórica al estructural-funcionalismo o el interés por el individuo y cierto tipo de comparación al culturalismo norteamericano)[12].

Fue en esas décadas cuando se publicó la mayoría de las numerosas monografías «clásicas» sobre pueblos y tribus y, luego, también regiones y aldeas, ciudades y barrios, que hasta el día de hoy son referencia característica para la disciplina. También en ese tiempo se consolidó el método de investigación disciplinario característico: el llamado «trabajo de campo», es decir, la exposición personal y prolongada del antropólogo a la cultura diferente. Esta «observación participante», que convierte al estudioso en «nativo marginal» (Freilich 1970) o «actor descalificado» (Ribeiro 1998, 240), sigue siendo también el rito de iniciación típico para el aprendiz de la disciplina. Simultáneamente se libraban batallas por la definición y redefinición de los elementos constitutivos de los campos semánticos centrales de la antropología: cultura, sociedad, estratificación social, parentesco y matrimonio, poder y conflicto, norma y ley, producción y distribución económicas, mito-magia-religión, reproducción y cambio, estructura e institución, símbolo y rito... Entre los escasos debates sobre problemas de tipo epistemológico, el principal se refería a la posibilidad o no de equiparar determinados fenómenos encontrados en otras cul-

10. Las obras de Radcliffe-Brown (1972) y de Nadel (1974) proporcionan una visión representativa de los elementos característicos de este enfoque.

11. Cf., para una introducción, Simonis (1969).

12. En la citada antología de Bohannan y Glazer (1997) estas posiciones están representadas por Evans-Pritchard y Turner (podría agregarse la referencia a Max Gluckman y Edmund Leach, por ejemplo), por una parte, y por otra a Benedict, Linton y Kardiner (habría que agregar a Margaret Mead).

turas con otros equivalentes en la civilización occidental y de cómo estudiar a las otras culturas en sus propios términos[13].

Cabe señalar que estos debates y los consensos resultantes (los cuales nunca perduraron más de una generación) se desarrollaban a la par de un paulatino distanciamiento de las arriba mencionadas cuatro «ramas» antropológicas y, al mismo tiempo, de la consolidación de las igualmente mencionadas «subdisciplinas» (antropología política, antropología económica, estudios del parentesco, de la religión, de la tradición oral, de la tecnología, determinados aspectos de la llamada «cultura material», etc.[14]), las cuales se plasmaban, con el tiempo, en colecciones de libros, revistas, congresos y hasta asociaciones especializadas y asignaturas propias en programas de estudio.

Algunas temáticas, que tempranamente se habían constituido en subdisciplinas o se convirtieron posteriormente en especializaciones, han jugado un papel particularmente importante en el desarrollo de la disciplina. La más importante en este sentido es, sin duda, la *lingüística antropológica.* Su rol estelar deriva, por una parte, del hecho de que la lengua —en el sentido amplio de sistema simbólico perceptivo-expresivo, que puede incluir desde el esquema de clasificación de los colores o del tiempo vigente en un pueblo hasta el lenguaje técnico o la jerga específica de un subgrupo de una sociedad— es un camino de acceso inigualable al centro de cualquier cultura o subcultura, viva o muerta. Por otra parte, la lengua es vista frecuentemente como un fractal del universo sociocultural, por lo que aquí se han repetido las discusiones sobre el carácter de lo social, la relación entre individuo y colectividad, la relatividad de los fenómenos socioculturales, las posibilidades de su estudio científico[15]. Con muchas diferencias entre sí, tienen aquí su base la llamada «antropología cognitiva» o

13. Conocidos ejemplos son las polémicas sobre la posibilidad de traducir conceptos y procedimientos jurídicos (Gluckman 1978, cap. V) o las concepciones y prácticas de bujería y magia (Gluckman *et al.* 1976) de pueblos africanos a sistemas conceptuales europeos. La distinción entre un nivel *emic* (que se refiere a los aspectos únicos de una cultura singular) y un nivel *etic* (que considera los aspectos universales) es otro intento de domesticar esta tensión inherente a la realidad sociocultural y el análisis antropológico. Conviene subrayar que este debate no está restringido a fenómenos superestructurales, sino que abarca también a la economía bajo la forma de la oposición entre modelos formalistas y sustantivistas (Frankenberg 1974; Géraud *et al.* 1998, 245-259).

14. Panorámicas al respecto ofrecen manuales como los de Honigmann (1973), Fischer (1983), Harris (1990) y Brednich (1994).

15. Este debate recibió un importante impulso por la «hipótesis Sapir-Whorf» (cf. Gumperz y Bennett 1981, 98-104) y la publicación póstuma de las *Philosophische Untersuchungen* de Wittgenstein.

«nueva etnografía» (que entiende a la cultura como una «gramática» y sin referencia a su contenido), la durante un tiempo muy influyente antropología levistraussiana (con su análisis de la sociedad como sistema de intercambio de signos, bienes y mujeres), las aproximaciones inspiradas en el interaccionismo simbólico y el ritual, y también enfoques semióticos, hermenéuticos y simbólicos e interpretativos de los fenómenos socioculturales[16].

Otra de las, en el sentido arriba señalado, temáticas clave de la antropología ha sido siempre la de *la interacción de las sociedades humanas con su medio ambiente físico-biótico*. Ellas abordan la cultura como mecanismo adaptativo-transformador particular y único de la especie humana, que a diferencia de los de todas las demás especies tiene historia y convierte en medida creciente a todo el «medio natural» en «cultural». En términos más abstractos, y dado que los seres humanos tienen cuerpo y, por tanto, son parte del sistema físico-biótico del planeta, se plantea aquí siempre de nuevo el inquietante problema de la diferenciación conceptual y real entre *naturaleza y cultura*[17].

Durante mucho tiempo, la atención a la esfera del *parentesco* (de descendencia, afinidad y ritual) ha ocupado un lugar central en la antropología. Derivaba su lugar como verdadera «disciplina básica» (Fox 1972, 11)[18] de que especialmente en sociedades ágrafas y relativamente poco diferenciadas las reglas que rigen las alianzas matrimoniales y las relaciones entre parientes contienen gran parte de la normatividad de su organización económica, social, política y religiosa. Al mismo tiempo, su asombrosa variación ha impulsado siempre de nuevo la pregunta por la dialéctica entre identidad y diferencia en la organización de la vida social. El que este campo esté relacionado con la sexualidad puede haber significado, durante cierto tiempo, un atractivo adicional.

Otro campo medular más ha sido siempre, aunque con énfasis cambiante, el *mundo de las ideas básicas* encontradas en otras culturas acerca de la manera de cómo entender y explicar la vida humana, tanto en el nivel individual como en el colectivo, o sea, los ámbitos de la cosmovisión y el conocimiento, la filosofía y la religión, que muy pocas veces se hallan de modo sistematizado o explicitado, sino que usualmente se tienen que extraer de las tradiciones orales y de la me-

16. El libro de Reynoso (1998) ofrece una visión de conjunto de estos enfoques.
17. La ecología cultural se enfrentó posteriormente a las pretensiones reduccionistas de la sociobiología (Sahlins 1982).
18. Buchler (1982) aporta también una sucinta introducción a este campo.

moria histórica, de las creaciones artísticas y rituales de todo tipo, así como de las normas sociales vigentes y de su legitimación. Es este campo también uno de los favoritos para debatir sobre la existencia de una sola racionalidad humana, que solamente se exhibe de modo diferente en las distintas épocas y culturas, a lo que se contraponen enfoques que afirman la existencia de racionalidades distintas[19].

Sin embargo, no sería adecuado abordar el desarrollo de la antropología únicamente como proceso autogenerado de complejización cognitiva. Un elemento muy importante para el desarrollo de la antropología ha sido siempre *el carácter de los fenómenos socioculturales concretos* descubiertos o abordados, ya que éstos no solamente contribuyen decisivamente a generar los temas de la discusión, sino que también imprimen un sello distintivo a los modelos teóricos respectivos[20].

Aparte de esto hay que tener en cuenta que a menudo la recopilación de material etnográfico ha sido realizada en situaciones en las que era previsible la pronta desaparición de rasgos culturales y de culturas enteras. En consecuencia, no puede extrañar que la disciplina haya funcionado y siga funcionando frecuentemente como una *antropología de rescate*, intentando documentar para la posteridad y en una carrera contra reloj etnias, lenguas, costumbres, cosmovisiones, edificaciones, tecnologías, formas de vida y pensamiento a veces apenas recordados por la generación de los abuelos. Esto ha reforzado la tendencia de esta disciplina social singular —que tradicionalmente presenta los resultados de sus estudios no únicamente mediante la palabra hablada y escrita, sino también mediante fotografías y dibujos, grabaciones de audio y vídeo, escenificaciones estilizadas y exposiciones— a sobreenfatizar la coherencia interna de los fenómenos bajo estudio y la nitidez de sus límites y a menospreciar el hecho de la transformación constante de toda realidad sociocultural.

La segunda dinámica relevante aquí se refiere al campo de la llamada *antropología aplicada*, o sea, al uso de la investigación antropológica para la propuesta, la planeación, la implementación y la evaluación de estrategias dirigidas hacia «otros» y hacia la diversidad

19. Acercamientos ilustrativos (ver también las notas 13 y 15) al tema relativismo-universalismo ofrecen Stagl (1981), Jarvie (1984), Gellner (1985) y las antologías editadas por Duerr (1981) y Latouche (1999).

20. Un ejemplo ilustrativo es el desarrollo distinto de la antropología política en Norteamérica (donde el principal objeto de estudio, los pueblos autóctonos confinados después de su derrota militar en reservas, no mostraban tener instituciones políticas significativas) y en Europa (cuya investigación antropológica se encontraba especialmente en el África Negra con vigorosas formas de organización del poder público).

sociocultural como tal. Esta práctica antropológica[21] está entretejida con todo tipo de políticas sociales y culturales, instituciones educativas y programas de conservación y utilización del llamado «patrimonio cultural», y recientemente también con las esferas de los negocios internacionales y del turismo. Empero, su puesta al servicio de la administración colonial europea entre las dos guerras mundiales[22] y, posteriormente, de estrategias de contrainsurgencia dirigidas a los rebeldes en las colonias y a la llamada «subversión» en el interior de varios países latinoamericanos, constituye todavía una pesada hipoteca para la disciplina[23]. También su participación en las ahora muy criticadas políticas asimilacionistas hacia las poblaciones indígenas (Grupo de Barbados 1995) y otras «estrategias de desarrollo» han sido fuente de su descrédito, a lo que se agrega en Europa su uso para la legitimación de regímenes dictatoriales y genocidas[24].

Por su naturaleza, ambas dinámicas de la práctica antropológica relegan el interés propiamente teórico, ya que los imperativos de generar resultados etnográficos inmediatamente aprovechables y en función de intereses políticos externos se suelen sobreponer al objetivo propiamente cognitivo.

4. LAS DÉCADAS RECIENTES: NEOEVOLUCIONISMO Y MARXISMO

El final de la segunda guerra mundial y el inicio de la llamada guerra fría significó también para la ciencia antropológica el comienzo de una *nueva etapa*. Desde los años sesenta hasta bien entrados los ochenta puede observarse una recuperación bastante amplia del interés por el tema de la *evolución* que finalmente quedó incorporado de nuevo a la tradición disciplinaria, a veces como posición paradigmática, a veces sólo como referencia general.

En esta recuperación jugaban un papel importante preocupaciones generales de la civilización noratlántica, donde el vertiginoso avance de las fuerzas productivas reavivó las esperanzas de que la humanidad disponía ya del instrumental cognitivo y técnico necesario para el aprovechamiento pleno de los recursos del planeta, pero donde

21. Su desarrollo y polifacética actualidad se encuentran documentados en las páginas de la revista *Human Organization*.

22. Para apreciaciones diferentes de la antropología bajo el colonialismo europeo, cf. Leclerq (1973) y Kuper (1973, cap. 4).

23. Las denuncias más conocidas se dirigían contra el uso de la antropología en la guerra de Vietnam (Wakin 1992) y el «Proyecto Camelot» en Chile (Horowitz 1967).

24. Cf., por ejemplo, Emmerich (1971) y Huerta y Ortiz (1998).

también se observaban crecientes dificultades para extender sus beneficios sobre el resto «subdesarrollado» del mundo. A su vez, la rápida descolonización del mundo durante los años sesenta y setenta del siglo pasado, con su secuela de guerras civiles en muchas partes de África y Asia y, casi al mismo tiempo, una ola de golpes militares en América Latina, intensificaron la pregunta por el destino del Tercer Mundo, donde incluso se llegó a buscar una «tercera vía» de desarrollo entre capitalismo y comunismo.

En este contexto surgió la reanudación del largamente eclipsado paradigma evolucionista como una posibilidad de salir de la incómoda dinámica de fragmentación disciplinaria arriba descrita. Naturalmente, el *neo-evolucionismo* o *evolucionismo multilineal* no constituyó un simple regreso al evolucionismo decimonónico «unilineal», sino que pretendió incorporar los adelantos logrados por las ciencias naturales y la misma antropología durante más de medio siglo. En consecuencia, se presentó como heredero de los desarrollos conceptuales y metodológicos más prometedores del pasado y volvió desde esta perspectiva sobre las antiguas y nuevas polémicas fundamentales, tales como la relación entre cultura y naturaleza, entre individuo y sociedad, entre cambios socioculturales particulares y avance universal, entre adaptación a y transformación del medio ambiente, entre innovación independiente y difusión. Al mismo tiempo se elaboraban modelos explicativos para entender la dinámica evolutiva como complejización a lo largo de múltiples líneas —paralelas, divergentes y re-divergentes— y se estudiaban fenómenos sociales y sociedades específicas en este marco, privilegiando, por lo general, la esfera de la organización social por encima de la simbólica[25].

Es imposible comentar este enfoque sin hacer referencia inmediata a la introducción, casi simultánea y casi siempre directamente vinculada con el neoevolucionismo, del *pensamiento marxista* en la antropología. En el siglo XIX aquél había quedado completamente marginado de la ciencia académica, y hasta mediados del siglo XX había tenido cabida, con las paralizantes características de una doctrina de estado, casi sólo en la antropología del bloque soviético. La actualización de algunas vertientes de la tradición marxista en muchas universidades de Europa occidental para efectuar una severa crítica del capitalismo, llamado entonces altamente desarrollado o tardío, impactó fuertemente a la antropología. En casos extremos incluso se trató de liquidarla como expresión llana de la ideología burguesa o simple

25. Cf., a modo de ejemplos, las obras de Ribeiro (1970), Ingold (1991) y Adams (2001).

instrumento del imperialismo cultural. Donde se llegó a un fructífero encuentro de alguna corriente antropológica con otra de tipo marxista, se solía producir otro intento más de re-fundar la disciplina. En todos los casos, se abordaba la pregunta antropológica sobre la matriz de una realidad social en todos sus niveles profundamente dividida en sectores antagónicamente opuestos. La desigualdad en cuanto al control sobre los recursos básicos y las decisiones colectivas se convirtió en eje de análisis que subsumía cualquier otra diferencia —como la de etnia, género o religión— entre los grupos sociales y los pueblos; de acuerdo con esto, los estudios de localidades, movimientos y procesos de todo tipo siempre eran enmarcados en la lucha de clases universal. En la mayoría de las subdisciplinas antropológicas estas ideas se volvieron hegemónicas, a costa de un cierto economicismo, frente al cual el estudio de los fenómenos políticos, étnicos, religiosos, etc., tenía dificultad de abrirse paso[26]. En no pocos centros de investigación y de formación, la práctica académica y la enseñanza de la antropología eran vistas como aportes significativos al desenmascaramiento de un sistema social maligno y como participación en el cercano advenimiento de una sociedad más libre y más justa. Contribuían a este optimismo —dentro y fuera de las ciencias sociales— las audaces luchas anti-imperialistas en el Tercer Mundo, el cual seguía siendo el campo de trabajo principal de las ramas más creativas de la ciencia antropológica noratlántica.

5. LAS NOVEDADES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En los últimos veinte años del siglo XX y los primeros del siglo XXI el panorama antropológico ha estado cambiando, ante todo, en dos direcciones.

La primera transformación ha estado marcada —no solamente en la comunidad antropológica— por una paulatina pérdida de los optimismos arriba mencionados, que, por cierto, ha ido a la par de crecientes dudas sobre el estatuto de la disciplina como instrumento cognitivo. En este contexto se intensificaron los esfuerzos por *equilibrar o completar* los modelos analíticos preponderantemente sistémicos y centrados en la esfera tecno-económica mediante una mayor atención a los actores sociales y sus universos simbólicos. Muy pronto, empe-

26. Aproximaciones a este multifacético y altamente politizado debate lo proporcionan, entre otras, obras como las de Krader (1972), Llobera (1980, 181-237), Wessman (1981), Harris (1982) y Palerm (1998).

ro, los estudios enfocados hacia el ahora omnipresente tema de «la cultura»[27] y poco después, además, en la «identidad», llegaron a *sustituir* en muchas partes el intento hasta entonces preponderante de descubrir y denunciar las causas sociales de opresión y explotación. La aparente incapacidad de las anteriores propuestas paradigmáticas (cuya superación se marcaba a menudo mediante el agregado del prefijo «post» a sus nombres) para generar consensos productivos acerca de la explicación de las situaciones observadas, las vertiginosas transformaciones a nivel mundial en las esferas tecnológica, económica y política, y la poca utilidad de las ciencias sociales para proyectar alternativas atractivas y eficaces al respecto, redundaron en la difusión de una especie de paradigma neoboasiano —aunque sin usar tal denominación—: una antropología fuertemente narrativa, que ensalza la subjetividad del investigador frente a las tradicionales pretensiones de objetividad, que prescinde en amplia medida de la explicación causal basada en leyes generales y que, en vez de ello, se limita a referir en todo momento los fenómenos investigados a las azarosas interacciones entre las culturas, cuyos contenidos y límites parecen progresivamente desdibujados[28]. Este enfoque se cruza con y recibe un impulso adicional por algunos esfuerzos llevados a cabo en el seno de la antropología noratlántica de contrarrestar —a menudo bajo el lema de la «postcolonialidad»— la proyección de lo propio sobre los «otros», expandiendo la crítica del etnocentrismo europeo-occidental también a determinaciones provenientes del género, del grupo de edad, de la lengua materna, de la razón instrumental e incluso de la formación científica de las investigadoras y los investigadores de la otredad. Es obvio el parentesco de todo esto con las ideas boyantes desde los años ochenta sobre el supuesto fin de los «grandes relatos» e incluso de «la historia» y con el cuestionamiento de la ciencia, presente de modo difuso en las sociedades altamente industrializadas, como posible causa de muchos de los males de la Modernidad; también es patente la cercanía de algunas concepciones de este tipo con el cultivo de un fuerte relativismo y hasta «oscurantismo» (Harris 1982, 343), que han llegado a desactivar la preocupación por la función social de la ciencia antropológica.

27. No está de más recordar que también en la sociología, la ciencia política, las disciplinas históricas y las humanidades se generaron situaciones semejantes que llevaron incluso al intento de fundar una disciplina autónoma dedicada a tal tema, los llamados estudios culturales.

28. Una aproximación nos la ofrece el conjunto de textos recopilado y prologado por Reynoso (1991).

Innegablemente, esta antropología genera atrayentes viñetas sobre la otredad realmente existente en cualquier parte del globo y en los lugares más inopinados de la cotidianeidad en las sociedades noratlánticas, interesándose ante todo por aspectos superestructurales. Por ello sigue fascinando ampliamente, lo que se expresa también en la afluencia de admiradores de las grandes exposiciones arqueológicas y etnológico-históricas y en el aumento numérico de los estudiantes de las disciplinas antropológicas; todo esto fomentado, además, por la creciente movilidad de considerables segmentos poblacionales, por la constante difusión de noticias de todas las partes del mundo en todas las partes del mundo e incluso por la ambientación seductora de películas y novelas taquilleras en ambientes culturales «exóticos».

Algunos de sus detractores opinan que este tipo de antropología, que durante un momento pareció querer erigirse en nuevo paradigma, tiende a sustituir la investigación de la realidad sociocultural por el análisis de la interioridad de quienes la investigarían. Independientemente de esto hay que conceder que ha planteado cuestionamientos sobre el proceso de construcción de conocimientos antropológicos que son de interés también para una antropología que sigue manteniendo la pretensión de ser ciencia, en el sentido de opuesta al arte[29], o sea, generadora de conocimiento intersubjetivamente validable sobre otras culturas y la diversidad cultural como tal. Esto no significa necesariamente que esté adherida a una posición cientifista; de hecho hay muchos intentos de superar de algún modo la antigua dicotomía entre modelos explicativos y comprensivos[30]. Para ella valga tal vez en cierto sentido la observación hecha hace años por Popper (1972, 108) sobre la mutación de la antropología de ciencia predominantemente descriptiva y especializada en un determinado tipo de sociedades (las sencillas y exóticas) en ciencia social teórica general que abarca todos los fenómenos sociales, invirtiéndose así la situación decimonónica, en la que la sociología jugaba este papel, la cual ahora es más bien una disciplina especializada en las sociedades altamente desarrolladas o en sus segmentos.

Con cierta independencia de esta coyuntura, en la cual los límites con otras disciplinas y subdisciplinas se han vuelto porosos y emergen constantemente nuevas arenas multidisciplinarias, los resultados de

29. Una instructiva mirada a este debate la proporcionan el artículo de Carrithers (1990) y los comentarios sobre éste, publicados en el mismo número de la revista *Current Anthropology*. El volumen editado por Ingold (1996) aborda diversos «debates clave» sobre los fundamentos de la ciencia antropológica.

30. Cf., en este sentido, las consideraciones de González Echevarría (1987, 127 ss., 203 ss.) y el libro de Ulin (1990).

la investigación antropológica están recibiendo mucha atención por parte de quienes están interesados teórica o prácticamente en toda clase de relaciones interculturales tales como el diálogo interreligioso, la filosofía intercultural, la educación en sociedades multiculturales y las perspectivas de la inculturación[31].

A esto se agrega que a la antropología se le atribuye un importante potencial correctivo para enfrentar el fracaso de tantos «proyectos de desarrollo» para poblaciones marginales en el interior de la civilización noratlántica y para las mayorías populares en el Tercer Mundo. Por su parte, en América Latina, diversos sucesos vinculados con el «Quinto Centenario» de los primeros contactos euro-americanos y con la declaración del «Decenio de los Pueblos Indígenas» ha convertido nuevamente en gran tema de discusión cultural y política a los pueblos y las culturas indias del continente (y, posteriormente, también a la tercera y la cuarta «raíz», o sea, la población descendiente de inmigrantes africanos y asiáticos), y esto cada vez menos como «un problema» particular de un sector poblacional cuya solución corresponde al que supuestamente lo causa con su existencia, sino como un reto para la reconfiguración de los proyectos cultural-políticos nacionales[32].

La segunda transformación significativa reciente, aún en gestación, de la ciencia antropológica, que hay que señalar aquí consiste en la emergencia y la mayor visibilidad de las *antropologías del Sur*, también llamadas «periféricas»[33].

Con este nombre se designa la creciente presencia de comunidades antropológicas en países que para la antropología clásica eran únicamente lugares de estudio. En algunos de ellos tal presencia ha sido bastante antigua; en México, por ejemplo, se funda en 1910 la primera —aunque por los sucesos revolucionarios efímera— escuela de antropología, y en 1917 el primer antropólogo mexicano graduado inicia un proyecto piloto sobre el valle de Teotihuacán, en el que combina las cuatro ramas de la antropología con la intención de encontrar e iniciar una estrategia para mejorar la situación de la pobla-

31. En relación con lo último hay que mencionar también el desarrollo de diversos enfoques en teología, entre ellos, la «teología contextual» en varias partes del mundo no europeo y, en América Latina, los replanteamientos en el interior de la «teología de la liberación» y el surgimiento de las «teologías indias».

32. Así lo hacen ver Bonfil (1991) desde la antropología y Villoro (1998) desde la filosofía.

33. Cf., para esto, Cardoso de Oliveira (1988, 1998) y Krotz (1993); un breve conato de discusión se generó en el volumen 17 (1997) de la revista *Critique of Anthropology*.

ción de toda una región (Matos Moctezuma 2001, 39). Además, en ésa, al igual que en las demás sociedades latinoamericanas y caribeñas, se encuentran ya en el siglo XIX importantes esfuerzos de inventariar de modo más o menos sistemático y con un enfoque predominantemente historiográfico-etnográfico la realidad sociocultural de la patria y de explicarla con la ayuda de los modelos evolucionistas y positivistas entonces en boga. Pero igualmente es cierto que en todas ellas se reconoce la presencia temporal, en diferentes momentos y épocas, de antropólogos norteamericanos, franceses, ingleses y alemanes como influencia decisiva para el inicio de programas de investigación y el establecimiento de centros de estudio y de formación propiamente antropológicos.

Este reconocimiento, empero, parece haber oscurecido el hecho de que pocas veces un proceso de difusión es sinónimo de transplante. La mayoría de las veces, como precisamente lo enseñan los estudios antropológicos algo olvidados sobre la difusión cultural —que han recuperado actualidad a partir de la omnipresencia del vocablo «globalización»—, se trata de complejos procesos de transferencia a lo largo de los cuales lo transferido es recibido selectivamente, adaptado diferencialmente y, como en el caso de la antropología, finalmente arraigado y reproducido con características y dinámicas propias. En cuanto a América Latina puede reconocerse de modo general en los años sesenta y setenta del siglo pasado —las de la intensa discusión sobre la teoría de la dependencia y el capitalismo periférico— los primeros destellos generales de un pensamiento antropológico que se asume explícitamente como propio y no como simple repetición o imitación de lo generado en el centro originario de la disciplina; en los países asiáticos y africanos que cuentan hoy con antropologías consolidadas, la descolonización habrá sido un impulso importante para este tipo de concepción[34].

Aunque la dilucidación de las características cognitivas de estas antropologías del Sur está todavía en sus inicios, son patentes varias de sus particularidades que las distinguen de las del Norte. Así, por ejemplo, en su mayoría han estado orientadas, en cuanto pesquisa y aplicación, casi exclusivamente hacia la diversidad interna de sus países, donde las poblaciones indígenas (y las provenientes de las otras dos raíces mencionadas) proporcionan un reto empírico sumamente importante y, al mismo tiempo, un problema teórico de primer orden.

34. Cf., para este tema, las antologías editadas por Fahim (1982) y por Harrison (1997). Respecto a las antropologías latinoamericanas, puede verse la antología de Arizpe y Serrano (1993). El texto de Apter (1999) introduce en el caso africano y la reflexión autobiográfica de Srinivas (1997) proporciona un acercamiento al caso de la India.

Directamente vinculado con esto se encuentra otro tema capital de estas antropologías, el de la formación y consolidación de la organización estatal-nacional[35], donde los estudios antropológicos aportan elementos importantes para la legitimación y deslegitimación de propuestas doctrinales y estrategias políticas.

Otra diferencia consiste en que las antropólogas y los antropólogos de estos países del Sur —muchas veces la primera generación con estudios universitarios— se enfrentan no solamente en el campo teórico con un amplio abanico de corrientes y debates provenientes de los países originarios de la antropología. También con respecto a los temas, grupos sociales y lugares específicos sobre los que trabajan, se hallan frecuentemente con investigaciones previas o simultáneas realizadas por colegas del Norte. Entre éstos, que generalmente cuentan con mayores recursos de todo tipo, y los antropólogos del Sur se suelen establecer relaciones altamente complejas de competencia y de colaboración.

Otro aspecto digno de mención aquí es que la a veces mayor libertad frente al abanico de posiciones teóricas, que parece tenerse en el Sur, es contrarrestada por diversos factores, entre ellos la incapacidad de la mayoría de las instituciones académicas de establecer bibliotecas científicas merecedoras de tal nombre o la censura de regímenes dictatoriales que incluso llegaron a clausurar los programas de estudio en antropología.

Aunque en la investigación en el Sur y en reuniones académicas en cualquier parte es ya habitual la co-presencia de colegas del Norte y del Sur y a pesar de que las comunidades antropológicas de algunos países del Sur sobrepasan en cuanto a número de graduados, instituciones y publicaciones periódicas a las de varios países originarios de la disciplina, sigue dándose una cierta invisibilidad de las antropologías del Sur. Ésta se expresa en su ausencia en los principales diccionarios y manuales de difusión internacional, todos publicados en el Norte. A su vez, en cursos escolares sobre teoría antropológica impartidos en el Sur, se aborda habitualmente más que nada la antropología del Norte, mientras que la propia aparece como «anexo» de ésta y las demás antropologías del Sur están completamente ausentes. Esto se debe seguramente tanto a la poca circulación fuera de sus países de la producción bibliográfica, hemerográfica y museística del Sur como a que gran parte de la actual generación líder del Sur ha obtenido su doctorado en el Norte.

35. Medina (1996) ha desarrollado este aspecto para los casos de Cuba, México y Perú.

La ciencia especializada en la diversidad está aún ante el reto de utilizar la categoría de la alteridad para sí misma[36]. Y esto es tanto una tarea para las antropologías del Norte como para las del Sur. Para estas últimas el reto es acaso mayor, pues, por ejemplo, en varios países latinoamericanos empiezan a darse circunstancias en las que los antropólogos pertenecientes a la cultura nacional dominante se topan en sus acostumbradas áreas de estudio en el interior del país con antropólogos indígenas, situación novedosa que provoca tensiones y oportunidades similares a las arriba mencionadas para la arena internacional.

6. A MODO DE PERSPECTIVA FINAL: ANTROPOLOGÍA Y UTOPÍA

Las masivas migraciones, voluntarias y forzadas, los avances del dominio de los medios de difusión y comunicación, las resistencias y revitalizaciones hasta hace poco insospechadas (desde el levantamiento de la voz por parte de numerosos pueblos indígenas en todo el orbe hasta la obstinada permanencia de tradiciones filosófico-religiosas arrinconadas durante siglos por Occidente y las violentas impugnaciones del carácter universal de los derechos humanos en nombre de legados culturales ancestrales), las diversificaciones y recombinaciones, confluencias y ramificaciones del proceso social creadas por los movimientos del capital están agregando y superponiendo al mosaico cultural acostumbrado de etnias, naciones y bloques cultural-lingüísticos (considerados largamente casi «naturales») *novedosas entidades cultural e identitariamente definidas*. Son todavía difícilmente aprehensibles para la antropología, la cual, además, a menudo no puede satisfacer las expectativas relativas a la dimensión pragmática de la pregunta antropológica que muchos contemporáneos experimentan como la más urgente.

¿Pero no es posible reconocer en la simultaneidad y la secuencia aparentemente poco articuladas de las innumerables configuraciones socioculturales documentadas por la ciencia antropológica siempre el mismo contenido e impulso? A saber: la sociedad como una forma de organización de las relaciones entre los individuos y los grupos que tiene el único objeto de hacer posible y de garantizar a sus integrantes la vida humana digna de tal nombre. Así, la incesante emergencia de nuevos modos de pensar la vida y la muerte, de encontrar sentido

36. Gustavo Lins Ribeiro y Antonio Escobar están preparando, bajo los auspicios de la Fundación Wenner Gren, un volumen colectivo sobre el tema.

en la rutina de todos los días y de explicar sus repentinas perturbaciones, de asignar recursos y distribuir satisfacciones, de definir los valores vigentes y legitimar el poder, aparecen como *variantes de un mismo experimento colectivo* que es realizado a lo largo de la historia humana con grados de conciencia distintos, con medios tecnológicos, cognitivos y políticos diferentes y en contextos físico-bióticos y socioculturales diversos y cambiantes[37].

Como se explicó al inicio, la pregunta antropológica siempre se vuelve desde la experiencia de lo otro hacia lo propio y —con esto empieza la ciencia antropológica como tal en el siglo XIX— hacia la diversidad en su conjunto, de la cual forman parte lo propio *y* lo ajeno, el grupo al que uno pertenece *y* todos los demás. Desde este punto de vista, el futuro no es una mera prolongación del presente, o sea, la simple continuación de alguna o varias de las líneas evolutivas que han arribado al tiempo actual, porque, de hecho, cada una está cambiando constantemente bajo la influencia de otras. Es más: el conjunto de las configuraciones socioculturales actualmente existentes adquiere una calidad contrastante con respecto al futuro, ya que el presente, con toda la riqueza de formas de enmarcar positivamente la existencia de los individuos y los grupos y de proporcionar sentido a la misma, es ensombrecido por la enorme distancia entre quienes controlan el acceso a la riqueza del mundo creada por las generaciones sucesivas y quienes están excluidos de su disfrute; en estas circunstancias, el discurso del desarrollo a duras penas oculta los mecanismos que causan este escándalo y pretenden hacerlo perdurar.

La antropología es probablemente la ciencia social que más sabe de esta contradicción. Por una parte, ha reunido en miles de monografías y estudios puntuales un impresionante panorama de los momentos de plenitud como los mencionados, generados en el seno de las sociedades y los grupos sociales. Pero, por otra parte, la mayoría de sus estudios hablan de quienes cargan no sólo con el peso de la explotación más despiadada, sino también con el desprecio hecho estructura, colonialista y racista *de hecho*, a tal grado que cada vez más muchos de ellos se están convirtiendo, incluso en el interior de las islas opulentas del Norte, en «sobrepoblación» en el sentido más estricto de la palabra: gente sobrante.

Es aquí donde se vuelve palpable el *carácter subversivo* de la ciencia antropológica. Éste no deriva de determinada opción política de algunos de sus practicantes ni de la instrumentalización del conocimiento antropológico en función de estrategias revolucionarias. Ra-

37. Para la elaboración de esta perspectiva, cf. Krotz (2002, 371 ss.; 2003).

dica en la simple demostración, incesantemente repetida por el testimonio etnográfico, de la *existencia real* de la *alternativa allá* con respecto a lo que *existe acá*, despojando a lo propio y lo acostumbrado, por principio y para siempre, de su halo natural o divino. Donde este aquí y ahora no se encapsula en su presente congelado, tiene que abrirse a lo otro y hacia lo que en ambos y en el conjunto de los diversos estilos de organizar la vida colectiva se abre paso. El mundo es descubierto entonces como indeterminado y como no terminado aún, como proceso abierto, lleno de tendencias incumplidas todavía, que, por cierto, aparecen balbuceadas en los sueños utópicos de todos los tiempos y lugares, y de los que también la antropología naciente se nutría, pues ¿cómo olvidar que desde Heródoto a Colón y desde Moro a los socialistas utópicos decimonónicos, el viaje que lleva al encuentro con los otros y su reporte y reflexión están entretejidos con el anhelo de encontrar el mundo definitivamente bueno y por ello totalmente diferente del acostumbrado? En consecuencia, la infinita diversidad de las sociedades y culturas se revela como emergencia de algo que no se ha podido formular definitivamente aún en ningún idioma y que, sin embargo, se encuentra en el corazón del fenómeno humano. Es una emergencia sinuosa y contradictoria y nunca garantizada, necesitada siempre del esfuerzo cognitivo y práctico consciente, crítico y fijado en el objetivo que está latente y que ya se anuncia, aunque a veces difícilmente descifrable, en las configuraciones socioculturales *otras* y, enfocado mediante *el prisma de los otros*, también en el presente propio.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, R. N. (2001), *El octavo día: la evolución social como autoorganización de la energía*, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.

Apter, A. (1999), «Africa, Empire, and Anthropology: A Philological Exploration of Anthropology's Heart of Darkness»: *Annual Review of Anthropology*, 577-598.

Arizpe, L. y Serrano, C. (comps.) (1993), *Balance de la antropología en América Latina y el Caribe*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Bachofen, J. J. (1975), *Das Mutterrecht*, Suhrkamp, Frankfurt a. M.

Bestard, J. y Contreras, J. (1987), *Bárbaros, paganos, salvajes y primitivos: una introducción a la antropología*, Barcanova, Barcelona.

Bohannan, P. y Glazer, M. (eds.) (1997), *Antropología: lecturas*, McGraw-Hill, Madrid.

Bonfil, G. (1991), *Pensar nuestra cultura,* Alianza-Patria, México.
Brednich, R. W. (ed.) (1994), *Grundriss der Volkskunde,* Reimer, Berlin (2.ª ed. rev.).
Buchler, I. (1982), *Estudios de parentesco,* Anagrama, Barcelona.
Cardoso de Oliveira, R. (1988), *Sobre o pensamiento antropológico*, Tempo Brasileiro, Rio de Janeiro.
Cardoso de Oliveira, R. (1998), «Antropologias periféricas *versus* antropologias centrais», en Íd., *O trabalho do antropólogo*, UNESP, São Paulo, 107-133.
Carrithers, M. (1990), «Is Anthropology Art or Science?»: *Current Anthropology* 31 (3), 263-282. [Trad. cast. en *Alteridades: anuario de antropología 1990*, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.]
Duerr, H. P. (ed.) (1981), *Der Wissenschaftler und das Irrationale*, vol. I: *Beiträge aus Ethnologie und Anthropologie*, Syndikat, Frankfurt a. M.
Durkheim, E. (1974), *Las reglas del método sociológico,* La Pléyade, Buenos Aires.
Durkheim, E. (1983), *El suicidio,* Universidad Nacional Autónoma de México, México.
Emmerich, W. (1971), *Zur Kritik der Volkstumsideologie,* Suhrkamp, Frankfurt a. M.
Fahim, H. (ed.) (1982), *Indigenous Anthropology in Non-Western Countries*, Carolina Academic Press, Durham.
Fischer, H. (ed.) (1983), *Ethnologie – eine Einführung*, Reimer, Berlin.
Fox, R. (1972), *Sistemas de parentesco y matrimonio*, Alianza, Madrid.
Frankenberg, R. (1974), «Antropología económica: la opinión de un antropólogo», en R. Firth (ed.), *Temas de antropología económica*, Fondo de Cultura Económica, México, 54-94.
Freilich, M. (ed.) (1970), *Marginal Natives: Anthropologists at Work*, Harper and Row, New York.
Friedman, J. (1994), *Cultural Identity and Global Process*, Sage, London.
Gellner, E. (1985), *Relativism and Social Sciences,* Cambridge University Press, London.
Géraud, M.-O., Leservoisier, O. y Pottier, R. (1998), *Les notions clés de l'ethnologie*, Armand Colin, Paris.
Gerndt, H. (ed.) (1988), *Fach und Begriff «Volkskunde» in der Diskussion*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
Gluckman, M. (1978), *Política, derecho y ritual en la sociedad tribal*, Akal, Madrid.
Gluckman, M. *et al.* (1976), *Ciencia y brujería*, Anagrama, Barcelona.
González Echevarría, A. (1987), *La construcción teórica en antropología*, Anthropos, Barcelona.
Grupo de Barbados (1995), «Declaración de Barbados III», en G. Grünberg (coord.), *Articulación de la diversidad: Tercera Reunión de Barbados*, Abya-Yala, Quito, 19-27.
Guber, R. (2001), *La etnografía: método, campo y reflexividad*, Norma, Bogotá.

Gumperz, J. J. y Bennett, A. (1981), *Lenguaje y cultura*, Anagrama, Barcelona.
Harris, M. (1968), *The Rise of Anthropological Theory: A History of Theories of Culture*, Thomas Y. Crowell, New York. [Trad. cast. en Siglo XXI, México, 1979.]
Harris, M. (1982), *El materialismo cultural*, Alianza, Madrid.
Harris, M. (1990), *Antropología cultural*, Alianza, Madrid.
Harrison, F. V. (1997), *Decolonizing Anthropology: Moving Further toward an Anthropology for Liberation*, Association of Black Anthropologists-American Anthropological Association, Arlington.
Huerta, R. y Ortiz, C. (eds.) (1998), *Ciencia y fascismo*, Doce Calles, Madrid.
Honigmann, J. J. (ed.) (1973), *Handbook of Social and Cultural Anthropology*, Rand McNally, Chicago.
Horowitz, I. L. (1967), *The Rise and Fall of Project Camelot: Studies in the Relationship between Social Science and Practical Politics*, MIT, Cambridge, Mass.
Ingold, T. (1991), *Evolución y vida social*, Concaculta/Grijalbo, México.
Ingold, T. (ed.) (1996), *Key Debates in Anthropology*, Routledge, London.
Jarvie, I. C. (1984), *Rationality and Relativism: In Search of a Philosophy and History of Anthropology*, Routledge, London.
Kahn, J. S. (comp.) (1975), *El concepto de cultura: textos fundamentales*, Anagrama, Barcelona.
Kaplan, D. y Manners, R. A. (1979), *Introducción crítica a la teoría antropológica*, Nueva Imagen, México.
Krader, L. (ed.) (1972), *The Ethnological Notebooks of Karl Marx*, Van Gorcum, Assen.
Krotz, E. (1993), «La producción de la antropología en el Sur: características, perspectivas, interrogantes»: *Alteridades* 3 (6), 5-11. [También en <http://www.uam-antropologia.info/alteridades/alt6-1-krotz.pdf>.]
Krotz, E. (1998), «Ciencia normal o revolución científica?», en M. F. Boivin, A. Rosato y V. Arribas (eds.), *Constructores de otredad: una introducción a la antropología social y cultural*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 33-54.
Krotz, E. (2002), *La otredad cultural entre utopía y ciencia: un estudio sobre el origen, el desarrollo y la reorientación de la antropología*, Fondo de Cultura Económica/Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
Krotz, E. (2003), «El multiverso cultural como laboratorio de vida feliz»: *Alteridades* 13 (25), 35-44.
Kuper, A. (1973), *Antropología y antropólogos: la escuela británica, 1922-1972*, Barcelona, Anagrama.
Kuper, A. (2001), *Cultura: la versión de los antropólogos*, Paidós, Barcelona.
Latouche, S. *et al.* (1999), *Le retour de l'ethnocentrisme: purification ethnique versus universalisme cannibale*, La Découverte/M.A.U.S.S., Paris.
Leclercq, G. (1973), *Antropología y colonialismo*, Alberto Corazón, Madrid.
León-Portilla, M. (1972), *Visión de los vencidos: relaciones indígenas de la conquista*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Llobera, J. R. (1980), «¿Hacia un nuevo marxismo o una nueva antropología?», en Íd., *Hacia una historia de las ciencias sociales*, Anagrama, Barcelona, 181-237.
Lowie, R. H. (1974), *Historia de la etnología*, Fondo de Cultura Económica, México.
Luque, E. (1985), *Del conocimiento antropológico*, Siglo XXI de España, Madrid.
Matos Moctezuma, E. (2001), «La antropología en México»: *Ciencia* 52 (3), 36-43.
McLennan, J. F. (1970), *Primitive Marriage*, Universidad de Chicago, Chicago.
Medina, A. (1996), «La etnografía como una reflexión en torno a la nación: tres experiencias», en Íd., *Recuentos y figuraciones: ensayos de antropología mexicana*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 219-231.
Mercier, P. (1969), *Historia de la antropología*, Península, Barcelona.
Nadel, S. F. (1974), *Fundamentos de antropología social*, Fondo de Cultura Económica, México.
Neufeld, R. M. (1986), «El concepto de cultura en antropología», en M. Lischetti (comp.), *Antropología*, Editora Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 109-138.
Palerm, Á. (1976), *Historia de la etnología: los evolucionistas*, Centro de Investigaciones Superiores-INAH, México.
Palerm, Á. (1977), *Historia de la etnología: Tylor y los profesionales británicos*, Centro de Investigaciones Superiores-INAH, México.
Palerm, Á. (²1998), «Antropología y marxismo en crisis», en Íd., *Antropología y marxismo*, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México, 27-44.
Popper, K. R. (1972), «Die Logik der Sozialwissenschaften», en Th. W. Adorno *et al.*, *Der Positivismusstreit in der deutschen Soziologie*, Luchterhand, Darmstadt, 103-123. [Trad. cast. en Grijalbo, Barcelona, 1972.]
Radcliffe-Brown, A. R. (1972), *Estructura y función en la sociedad primitiva*, Península, Barcelona.
Ribeiro, D. (1970), *El proceso civilizatorio: etapas de la evolución sociocultural*, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
Ribeiro, G. L. (1998), «Descotidianizar: extrañamiento y conciencia práctica, un ensayo sobre la perspectiva antropológica», en M. Boivin, A. Rosato y V. Arribas (eds.), *Constructores de otredad: una introducción a la antropología social y cultural*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 237-242.
Reynoso, C. (comp.) (1991), *El surgimiento de la antropología posmoderna*, Gedisa Mexicana, México.
Reynoso, C. (1998), *Corrientes en la antropología contemporánea*, Biblos, Buenos Aires.
Rudolph, W. (1983), «Ethnos und Kultur», en H. Fischer (ed.), *Ethnologie - eine Einführung*, Reimer, Berlin, 47-67.
Sahlins, M. (1982), *Uso y abuso de la biología: una crítica antropológica de la sociobiología*, Siglo XXI de España, Madrid.

Shweder, R. A. (2001), «Culture: Contemporary Views», en N. J. Smelser y P. B. Baltes (eds.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, Amsterdam, vol. 5, 3151-3158.
Simonis, Y. (1969), *Claude Lévi-Strauss o la pasión del incesto*, Ediciones de Cultura Popular, Barcelona.
Srinivas, M. N. (1997), «Practicing Social Anthropology in India»: *Annual Review of Anthropology* 26, 1-24.
Stagl, J. (1981), «Szientistische, hermeneutische und phänomenologische Grundlagen der Ethnologie», en W. Schmied-Kowarzik y J. Stagl (eds.), *Grundfragen der Ethnologie: Beiträge zur gegenwärtigen Theorie-Diskussion*, Reimer, Berlin, 1-38.
Tokarev, S. A. (1989), *Historia de la etnografía*, Ciencias Sociales, La Habana.
Ulin, R. C. (1990), *Antropología y teoría social*, Siglo XXI, México.
Villoro, L. (1998), *Estado plural, pluralidad de culturas*, Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México, México.
Wakin, E. (1992), *Anthropology Goes to War: Professional Ethics and Counterinsurgency in Thailand*, University of Wisconsin, Madison.
Wessman, J. W. (1981), *Anthropology and Marxism*, Schenkman, Cambridge.
Wimmer, A. (1997), «Die Pragmatik der kulturellen Produktion: Anmerkungen zur Ethnozentrismusproblematik aus ethnologischer Sicht», en M. Brocker y H. H. Nau (eds.), *Ethnozentrismus: Möglichkeiten und Grenzen des interkulturellen Dialogs*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 120-140.

PANORAMA DE LOS PARADIGMAS EN LINGÜÍSTICA

María Teresa Cabré y *Mercè Lorente*

1. LOS MODELOS LINGÜÍSTICOS HOY

La actividad de los lingüistas se distribuye entre los avances teóricos para la explicación del fenómeno del lenguaje y los desarrollos de aplicaciones que se proponen objetivos bien diversos.

La lingüística general o teórica, ajena habitualmente a los desarrollos aplicados, ha ido avanzando a lo largo del siglo XX en la constitución de una teoría explicativa sobre la capacidad humana del lenguaje y la materialización en lenguas particulares, cuya característica fundamental es la variación. Por tanto son objeto de la lingüística las vertientes cognitiva, simbólica y social del lenguaje natural.

Las diversas «escuelas» lingüísticas que coexisten actualmente comparten, en líneas generales, este objeto tridimensional, pero lo hacen centrando su atención en alguno de estos aspectos, en detrimento de otros, lanzando hipótesis teóricas dispares, usando métodos científicos distintos y proponiendo formalismos de representación múltiples.

La lingüística aplicada, conjunto de disciplinas orientadas hacia la resolución de problemas de comunicación o hacia la construcción de recursos lingüísticos y herramientas de procesamiento del lenguaje natural, ha combinado, desde antiguo, estrategias y modelos diversos para la descripción, el análisis y la representación de los datos de las lenguas particulares. Estas estrategias y modelos no siempre provienen de los avances realizados en la teoría lingüística que se desarrolla coetáneamente, sino que a menudo se sostienen en las tradiciones y las finalidades mismas de las prácticas. Así, la lexicografía o la enseñanza de lenguas, sin haber estado aisladas completamente del devenir teórico y metodológico de la lingüística general o teórica, han ido

construyendo su propio universo de principios y métodos orientados por la praxis. No obstante, en los últimos años se percibe una cierta tendencia por conseguir en algunos campos aplicados una adaptación coherente, llamada por algunos «elegante», del corpus teórico y metodológico de modelos lingüísticos determinados, como viene sucediendo en una gran parte de la lingüística computacional o de la traductología.

Antes de entrar a describir las principales «escuelas» u orientaciones actuales en lingüística, conviene aclarar que debajo de etiquetas denominativas como *gramática*, *modelo gramatical*, *modelo lingüístico*, *mecanismo*, *formalismo o teoría lingüística*, residen básicamente tres niveles epistemológicos distintos. El primero, el de la *teoría del lenguaje*, en el que se postulan principios generales sobre la naturaleza y el funcionamiento del lenguaje humano; el segundo, el de los *modelos lingüísticos*, en el que, a partir de las hipótesis principales de la teoría lingüística del primer nivel, se establece una modelización del lenguaje, un simulacro sobre su composicionalidad, estructura y procesamiento; y, finalmente, un tercer nivel epistemológico, el de los *mecanismos*, en el que intervienen aspectos de formalización y de representación de los datos lingüísticos particulares y de los datos generales derivados por generalización.

La identificación de las diversas teorías del lenguaje que se han ido sucediendo, o que en algunas etapas han coexistido, se correlaciona con la noción de paradigma científico de Kuhn (1962), en el sentido de innovación (o revolución o redefinición) del objeto y de la metodología, que llega a obtener un gran consenso en la comunidad académica y abre todo un programa de desarrollo científico. Desde que el legado de Ferdinand de Saussure (1916) puso los pilares para el desarrollo de las ciencias del lenguaje como materia científica, el *estructuralismo* lingüístico se convirtió en el paradigma teórico dominante hasta bien entrados los años cincuenta del siglo XX. Su objeto eran las lenguas particulares y su metodología se amparaba en los modelos de las ciencias naturales y de la física mecánica (atomización de los datos, metodología de base empírica e inducciones de generalización hacia unidades de tratamiento abstractas), en contraste con los estudios lingüísticos del siglo XIX dominados por la visión historicista y con desarrollos metodológicos poco sistemáticos. La irrupción de la primera obra de Noam Chomsky (1957) supuso realmente la primera revolución científica sentida como tal en las ciencias del lenguaje. Se trataba fundamentalmente de un cambio de objeto científico, que pasaba de las lenguas particulares a la capacidad del lenguaje, de naturaleza psicológica y, por lo tanto, universal. Con este cambio

de perspectiva, la metodología también se revolucionaba con la asunción del método hipotético-deductivo y de mecanismos formales provenientes de la lógica. Aunque el *generativismo* se ha mantenido hasta ahora como paradigma dominante en la comunidad científica, algunas de sus voces críticas defienden para sí la consideración de paradigmas alternativos, como la *teoría de la variación* (Labov 1972), la *lingüística funcional* (Halliday 1970) y, más recientemente, la *lingüística cognitiva* (Langacker 1987). Seguramente el cambio que proponen no es tan espectacular como el experimentado entre estructuralismo y generativismo, por cuanto ahora no se plantea un canje de objeto científico: todas estas orientaciones tienen como objetivo principal explicar el fenómeno del lenguaje. Las diferencias fundamentales que presentan se refieren a la vertiente del lenguaje que centra su atención (la psicológica o la social), a los principios básicos que postulan y a la metodología utilizada. Esta noción menos drástica del cambio de paradigma parece más cercana a lo sucedido en la mayoría de disciplinas científicas en los últimos años. Hay que recordar que las redefiniciones del objeto se dan ocasionalmente en la historia de la ciencia y sobre todo en etapas de desarrollo iniciales.

Teniendo en cuenta esta noción de cambio de paradigma centrada en principios, modelos y mecanismos más que en el objeto mismo, estructuraremos aquí la presentación de las orientaciones de la lingüística actual en tres grandes líneas programáticas: la *lingüística formal*, que incluye desde el modelo evolucionado de la gramática generativa de Chomsky hasta los modelos aplicados en la lingüística computacional actual; la *lingüística funcionalista*, que abarca modelos lingüísticos que integran la vertiente social y comunicativa del lenguaje; y, por último, la *lingüística cognitiva*, integradora de diversas iniciativas programáticas que abogan por una alternativa psicolingüística al paradigma generativo dominante.

Cada una de estas orientaciones, o paradigmas, si se prefiere, está representada por varios modelos lingüísticos o propuestas teóricas. No presentaremos en detalle cada uno de estos modelos o propuestas, pero los citaremos en tanto que fuentes primordiales que dan cuenta de los principios fundamentales que guían el marco teórico.

2. LA LINGÜÍSTICA FORMAL: LA MODELIZACIÓN DEL LENGUAJE A PARTIR DE LA LÓGICA

Con la etiqueta «lingüística formal» nos referimos al conjunto de modelos teóricos que tienen por objetivo describir las lenguas y explicar

la adquisición del lenguaje a partir de formalismos inspirados en la lógica matemática. Aunque esta orientación está compuesta por varios modelos lingüísticos, como la gramática relacional de Perlmutter (1983), la gramática de Montague (1974), la gramática léxico-funcional de Bresnan (1982) o la gramática sintagmática orientada al núcleo (HPSG) de Pollard y Sag (1994), entre otras, la obra paradigmática de la lingüística formal corresponde a Noam Chomsky y a su gramática generativa.

Nacido como alternativa al carácter taxonomista de la lingüística estructural de la primera mitad del siglo XX y como reacción contraria a las posiciones de la psicología conductista, el generativismo se impuso progresivamente como paradigma dominante en la lingüística mundial a partir de los años sesenta. Su aparición revolucionó los fundamentos teóricos y metodológicos en el estudio del lenguaje y, aunque ha sido objeto de duras críticas, mantiene su posición predominante, ya que se ha construido como un programa de investigación abierto, muy dinámico y consolidado institucionalmente, preocupado por mantener una fuerte coherencia científica, evaluando sus propuestas y falseando sus propias hipótesis.

El carácter formal de la gramática generativa, y de otros modelos del mismo paradigma, se basa en la preocupación común de que las propiedades matemáticas regulen los mecanismos gramaticales. Las gramáticas son planteadas como axiomas, como máquinas teóricas o constructos abstractos, capaces de generar y de interpretar las expresiones de una lengua como lo hacen los hablantes. Los metalenguajes utilizados, tomados de la lógica formal y de la matemática moderna, se basan comúnmente en símbolos y en operaciones de cálculo, y se especifican en cada modelo gramatical de manera distinta. La formalización se puede construir mediante reglas, movimientos, posiciones, huellas, principios, parámetros, condiciones de restricción, etiquetas de rasgos, funciones lógicas, ordenación de operaciones, estructuración en módulos, etc. Con ello se pretende hacer un simulacro de cómo funciona la capacidad del lenguaje. Los autores de este tipo de gramáticas, y Chomsky a la cabeza, recuerdan, a menudo, que no se deben interpretar como el espejo de las operaciones cognitivas reales realizadas en el cerebro, sino como meros modelos teóricos que se validan por sí mismos. De acuerdo con Chomsky (1957), lo que tendría que esperarse de una teoría lingüística es que proporcionara un procedimiento de evaluación para las gramáticas, como hacen otras ciencias.

La metáfora del ordenador está en la base de todo planteamiento de gramática formal. Un mecanismo de base común sometido a ins-

trucciones diferentes genera salidas distintas. Así, la capacidad del lenguaje expresada genéticamente recibe estimulación externa variada, lo que posibilita el uso del lenguaje mediante una lengua particular. Un mecanismo gramatical tiene como función describir adecuadamente las expresiones generadas en cada lengua particular y postular, al mismo tiempo, la naturaleza de la gramática universal común y las operaciones que permiten derivar las expresiones de las lenguas particulares a partir de esta gramática universal.

La mayoría de los modelos lingüísticos actuales comparten con Chomsky la idea de que un mecanismo gramatical debe regirse por tres criterios de adecuación: la adecuación observacional, ya que debe ser capaz de generar el conjunto correcto de cadenas de una lengua natural; la adecuación descriptiva, puesto que debe construir un modelo con la capacidad que tienen los hablantes para correlacionar significados y sonidos; y la adecuación explicativa, porque la cuestión fundamental a la que debe responder la lingüística es cómo puede aprenderse una lengua.

2.1. *La alternativa al estructuralismo lingüístico*

La lingüística de la primera mitad del siglo XX se caracterizó por un aumento progresivo de la preocupación por el rigor metodológico. Embebidos de un empirismo estricto, los lingüistas se interesaban fundamentalmente por las realizaciones físicas del lenguaje, y no por las intuiciones de los hablantes, y la obtención de datos debía realizarse por medios mecánicos preferentemente. El fisicismo imperante explicaría la eclosión de los estudios de fonética acústica y del progreso tecnológico relacionado, con herramientas como el espectrógrafo. El objetivo de la lingüística estructural era describir científicamente los hechos lingüísticos, clasificarlos e inducir de ellos principios generales. Según la metodología de Harris (1951), el propósito completo de la lingüística descriptiva es obtener una representación compacta de cada una de las expresiones del corpus de una lengua. A partir de la grabación del sonido, el programa estructuralista (Bloomfield 1939) se organizaba en cuatro fases o niveles de análisis: la fonología, la morfología, la sintaxis y el discurso. La semántica quedaba fuera del programa por su falta de operabilidad, aunque se continuarían lanzado propuestas de análisis del léxico basadas en la descomposición del significado.

A finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, la lingüística estructural había llegado a resolver de manera adecuada procedimientos de segmentación y de clasificación y gozaba de un estatus institucional consolidado tanto en Europa como en Estados Unidos.

La obra de Chomsky irrumpe, de manera un tanto ocasional, en un panorama lingüístico americano dominado por modelos gramaticales de estructura sintagmática, como el de Hockett (1953), que empezaban a manifestar su confianza en el papel de la ingeniería para el análisis de los datos lingüísticos y para la traducción. Con un modelo científico inspirado en la física y en la matemática, Chomsky aboga por la construcción de una teoría del lenguaje mediante una gramática que genere un conjunto infinito de expresiones con sus descripciones estructurales asociadas. Rechaza con ello la visión estática de la gramática estructuralista como la representación abreviada del corpus de una lengua. Considera que la gramática de una lengua no puede deducirse mecánicamente de los datos observables como pretendían los estructuralistas, y defiende el papel de la intuición de los hablantes para juzgar la aceptabilidad de las expresiones generadas por el mecanismo gramatical.

2.2. *En contra de la psicolingüística conductista*

Pocos años antes de la publicación del primer libro de Chomsky, *Syntactic Structures* (1957), se inicia una nueva línea en el estudio del lenguaje, originada en la síntesis de la lingüística con la psicología, con la obra de Osgood y Sebeok (1954).

Con anterioridad, Bloomfield (1939) plantea la estrecha relación que la lingüística estructural establece con la filosofía del Círculo de Viena y con la psicología de corte conductista cuando afirma que la lingüística sólo debe ocuparse de los hechos observables en un tiempo y un lugar determinados por todos y cada uno de los observadores. Para la psicología conductista el conocimiento se basa únicamente en la experiencia, lo que para la adquisición del lenguaje implica que los niños aprenden la gramática de su lengua aplicando principios inductivos elementales a los datos de habla en bruto que hay a su alrededor, o sea, la señal acústica que perciben.

Aunque los psicolingüistas son herederos del conductismo poco radical de C. Hull, que ponía en relación las unidades teóricas de segmentación del estructuralismo (fonema, morfema) con la noción de respuesta inmediata, la posición imperante en la psicología del momento es la representada por B. F. Skinner. Se trata de un conductismo extremo que no tolera ningún tipo de abstracción, ni las unidades teóricas de la lingüística estructuralista, como fonema o morfema, porque no constituyen hechos comprobables en sí mismos.

Precisamente será esta posición más radical el objetivo del ataque dialéctico lanzado por Chomsky (1959), donde expone que no se pue-

de concebir que se adquiera una gramática infinita, en un tiempo tan breve y con un estímulo tan pobre, como el que reciben los niños en sus primeras etapas de aprendizaje. *Chomsky ha sostenido reiteradamente que el interés intrínseco del lenguaje como objeto de investigación está en el hecho de que sus propiedades estructurales son, en gran parte, innatas y, por tanto, no pueden derivar de nociones tales como función comunicativa y propósito del hablante* (Newmeyer 1980, 124). Denominado a menudo con las etiquetas de *innatismo* o de *mentalismo*, el modelo psicolingüístico de Chomsky se basa en la hipótesis de que la capacidad del lenguaje es autónoma respecto de otras capacidades cognitivas y que su naturaleza es de tipo formal o estructural. *Por lo tanto, la teoría lingüística es mentalista, ya que se ocupa de descubrir una realidad mental subyacente a la conducta real* (Chomsky 1965, 4).

2.3. *Los principios básicos de la gramática generativa transformacional*

De acuerdo con sus presupuestos en el plano cognitivo, los modelos gramaticales que Chomsky ha ido diseñando a lo largo de casi cincuenta años presentan una serie de principios que se mantienen inalterables como hipótesis de su programa de investigación. Destacamos la gramática universal, los primitivos gramaticales de carácter estructural, las nociones de competencia y actuación, o la autonomía de la gramática.

El conjunto de propiedades lingüísticas transmitidas genéticamente configura la gramática universal, a partir de la cual se pueden derivan las expresiones lingüísticas infinitas de las lenguas particulares que comparten elementos universales. Katz y Postal (1964) y Chomsky (1965) establecen la distinción entre universales sustantivos y universales formales, y coinciden en que la teoría lingüística debe dar cuenta de ambos. Los universales sustantivos permiten construir los enunciados de una descripción lingüística (categorías sintácticas, rasgos distintivos fonológicos y los indicadores semánticos, por ejemplo), mientras que los formales se corresponden con las condiciones que toda descripción lingüística debe cumplir (naturaleza de las reglas o modos de conectarse entre sí). En 1986 Chomsky introduce el modelo de *principios y parámetros*, donde los principios se presentan como los mecanismos cognitivos básicos para la adquisición de las lenguas, y los parámetros, como la información vinculada a la lengua particular que se aprende. Así los principios se relacionan con la capacidad biológica del lenguaje, mientras que los parámetros se con-

vierten en operadores que permiten dar cuenta de la tipología de lenguas, del cambio lingüístico o de la variación dialectal.

Coherentemente los primitivos de la gramática en Chomsky siempre son de naturaleza formal, en oposición a otros planteamientos de la lingüística que abogan por primitivos de tipo funcional o de tipo semántico. Así, a partir del modelo de principios de los ochenta, la *teoría de rección y ligamiento*, los primitivos [N] y [V] son los rasgos mínimos que permiten identificar las categorías léxicas (nombre, adjetivo, verbo y preposición), que a su vez son definidas estructuralmente.

Presentes ya en las primeras obras de Chomsky, las nociones de competencia y actuación se desarrollan en *Aspects of the Theory of Syntax* (1965). La competencia se define como un sistema de reglas generativas que constituye el conocimiento del lenguaje implícito en los hablantes de una lengua, y se reserva la denominación de actuación para referirse al uso concreto de las expresiones de la lengua por parte del hablante. La gramática generativa se identifica como una gramática de la competencia, que tiene por objetivo describir y explicar los mecanismos que permiten generar y comprender las expresiones lingüísticas. Chomsky coincide con Sapir (1921) y Newman (1941) en que el conocimiento afecta el uso, pero que metodológicamente conviene tratarlos independientemente.

La afirmación de la independencia de la gramática respecto de la semántica ha sido, sin lugar a dudas, el elemento más conflictivo del modelo, en parte porque ha sido mal interpretado y en parte porque la relación entre forma y significado es nuclear en lingüística. En *Syntactic Structures* (1957) esto se justifica mediante varias intuiciones lingüísticas de los hablantes no expresadas semánticamente, como la distinción fonológica, la identificación de morfemas o incluso algún tipo de definición del sujeto y objeto oracionales. De hecho, Chomsky se ve obligado a señalar en varias ocasiones que no se trata de una sintaxis independiente de la semántica, ya que, como indica C. Piera (2002), partidarios y detractores han malinterpretado la afirmación inicial, identificando *gramática* con reglas de la sintaxis y *semántica* con reglas de interpretación semántica. Parece ser que la afirmación tiene su origen en la *teoría del significado como uso* de los filósofos de Oxford que influyen en Chomsky, cuando considera que ciertos aspectos semánticos, como el conocimiento del mundo, dependen del contexto y se correlacionan con la actuación, y no con la competencia. A pesar de las aclaraciones, la vaguedad en la delimitación de la gramática y la necesidad de una teoría semántica adecuada, que ya se habían planteado en Katz y Fodor (1963), será el punto de

inflexión para la aparición de modelos gramaticales alternativos, dentro y fuera del paradigma formalista.

2.4. *Antecedentes de la gramática generativa*

Chomsky refuta la idea saussuriana de la lengua como inventario sistemático y recupera la de Humboldt (1836) como base de la noción de competencia: la lengua es un sistema de procesos generativos. Del autor alemán recoge también la visión de la lengua infinita construida con elementos finitos, y lo vincula con el trabajo que los matemáticos venían realizando desde los años treinta.

Las limitaciones de las gramáticas tradicionales y estructuralistas, que proveen buenas descripciones pero que son incapaces de establecer generalizaciones, justifican su defensa de nociones racionalistas como el innatismo de las ideas (Descartes 1647) o la gramática universal (J. Beattie 1788; Du Marsais 1729). Los procedimientos derivativos de las expresiones de la lengua a partir de una gramática universal se inspiran en la idea del orden natural de los pensamientos de la *Grammaire générale et raisonnée* (Lancelot *et al.* 1660), que hace necesario que la gramática dé cuenta de fenómenos como la inversión o la elipsis, por ejemplo.

No debemos pensar que la crítica de Chomsky al estructuralismo le impida ver qué elementos de esta corriente de la lingüística son pertinentes a su propuesta. A modo de ejemplo, la teoría de los rasgos distintivos fonológicos del funcionalista Jakobson se toma como referencia para la definición de los universales sustantivos, y las reglas de estructura sintagmática de los primeros modelos chomskyanos son prácticamente idénticas a las desarrolladas por el estructuralismo americano anterior.

2.5. *Evolución del modelo*

Wasow (1985) distingue tres etapas en las que Chomsky revoluciona el modo de investigar en gramática. La primera fase de teorización (1957-1964), en la que defiende la construcción de una teoría más que los desarrollos taxonómicos de descripción de datos, se caracteriza por el alto grado de explicitación formal y el interés por las propiedades matemáticas de los formalismos gramaticales. La segunda fase de desarrollo de la teoría estándar (1965-1979), en la que se introduce el componente semántico y se plantea la necesidad de restricción del poder de la gramática. Y la tercera fase (1980-1989) de máxima abstracción de las gramáticas particulares para construir la

teoría de la gramática universal. Podríamos añadir ahora una cuarta etapa (desde 1990) en la que Chomsky orienta sus intereses en cuestiones de diseño del modelo para reducir los costes computacionales del mecanismo planteado.

La fase de formación de la teoría se identifica con el modelo de gramática transformacional ya presentado en *Syntactic Structures* (1957). La gramática está formada por reglas que generan estructuras sintagmáticas, por reglas transformacionales que derivan nuevas estructuras y que permiten establecer generalizaciones potentes, y finalmente por reglas morfo-fonológicas que convierten cadenas de símbolos en cadenas de fonemas. Para entender una oración es necesario reconstruir la representación al nivel transformacional, ya que el significado proviene de la estructura profunda. Con el énfasis puesto en la noción de gramaticalidad de las expresiones generadas por la gramática y en los aspectos estructurales, esta etapa se centra en la construcción de un aparato teórico que respete los criterios de adecuación externos y evaluable en términos de brevedad y de poder generalizador. Se abre, a partir de 1957, un período de consolidación y acuerdo sobre los puntos primordiales, en el que destacan la incorporación de la semántica en Katz y Fodor (1963) o la valoración del orden de aplicación de las reglas de Fillmore (1963).

Con la publicación de *Aspects of the Theory of Syntax* (1965) empieza una etapa de revisión y enriquecimiento del modelo, conocido como teoría estándar. Supone el inicio de la restricción del poder de las transformaciones: se eliminan las reglas de incrustación y las transformaciones generalizadas, en beneficio de la recursividad de reglas de estructura sintagmática, y se introducen las reglas de subcategorización estricta y las reglas de selección. Se define la estructura profunda como un nivel de descripción formal, rechazando la idea del reflejo del modelo mental, y se adopta la hipótesis de Katz y Postal (1964), por la cual las oraciones ambiguas disponen de más de una estructura profunda. Se establece la primera distinción entre las transformaciones sintácticas y los procesos léxicos.

El enfoque reducido y sintactista de la semántica provoca la primera crisis del modelo, con las propuestas de la sintaxis abstracta (Lakoff y Ross 1967), en la que se identifica la estructura profunda con la representación semántica, y el posterior nacimiento de la semántica generativa, representada por autores como Lakoff, Ross, McCawley y Postal que, entre los años 1968 y 1975, abogan por el abandono de la noción de estructura profunda, ponen en duda que semántica y sintaxis sean independientes y asimilan el componente de base de naturaleza semántica a un sistema lógico basado en la teoría de pre-

dicados, como también plantea en paralelo la obra de Fillmore (1968). Aunque la semántica generativa perdió su fuerza inicial como alternativa al modelo de corte sintactista, por razones metodológicas y también institucionales, lo cierto es que algunas de sus ideas han sido recuperadas con fuerza en la lingüística cognitiva actual.

El contraataque de Chomsky a la irrupción de la sintaxis abstracta y de la semántica generativa, una serie de conferencias impartidas en 1967 y publicadas en 1970, cuyo artículo principal es «Remarks on Nominalization», abre una nueva fase de revisión del modelo, dominada por la llamada *hipótesis lexicalista*, según la cual las nominalizaciones no se derivan por transformación, sino por procesos léxicos, y las transformaciones no pueden cambiar la categoría léxica. En esta nueva etapa, conocida como la de la *teoría estándar ampliada* y extendida a lo largo de la década de los años setenta, se continúa trabajando en las restricciones sobre las transformaciones para evitar que el mecanismo gramatical sea sobregenerador. Otra de las características de este período es el abandono de la hipótesis de Katz y Postal (1964), con la idea de que hay otros niveles pertinentes para la interpretación semántica además de la estructura profunda, elemento clave en el nuevo modelo de los años ochenta.

Las conferencias de Pisa de 1981 constituyen la base teórica de lo que se ha llamado *teoría de la rección y el ligamiento*, cuya característica fundamental es la economía en las representaciones. Se introducen cambios formales y conceptuales importantes en el diseño de la gramática: desaparecen las reglas transformacionales y se sustituyen por una única regla de movimiento de los constituyentes en las estructuras sintagmáticas; se unifica el tratamiento de huellas y variables, resultado de los movimientos, con el *principio de la categoría vacía*; la teoría del ligamiento regula los elementos con capacidad referencial, los pronombres y las relaciones anafóricas. Se integra la noción de forma lógica, como elemento de la interpretación semántica, derivado tanto de la estructura profunda como de la estructura superficial. La proliferación de subcomponentes gramaticales y de módulos teóricos es otra de las novedades del diseño de la gramática que ha repercutido claramente en la productividad de la investigación.

Aunque Chomsky vuelve a las consideraciones psicológicas y filosóficas con *The Knowledge of Language* (1986), en *Barriers* (1986) reabre de nuevo la revisión metodológica para dar respuesta a las voces críticas que genera el grado de abstracción planteado en las obras publicadas entre 1976 y 1981. Cobran importancia las relaciones locales con la introducción de la noción de *barrera*, que permite limitar desplazamientos, regular algunas relaciones anafóricas y categorías va-

cías, y redefinir la noción de régimen. No obstante, el elemento que Chomsky considera determinante en la posterior evolución del modelo es la introducción de las nociones de *principios y parámetros*, ya que sugiere una vía de superación del conflicto entre describir una lengua y explicar la adquisición del lenguaje y además ha resultado un enfoque muy productivo tanto para el estudio de la tipología lingüística como para nuevos retos teóricos y metodológicos, como la pregunta sobre cuáles son las especificaciones mínimas del diseño del lenguaje.

Actualmente ésta es la principal preocupación de Chomsky y el objetivo de lo que ha bautizado con el nombre de *programa minimalista*. No se trata de una nueva teoría del lenguaje, sino de un programa de investigación encaminado a establecer el diseño óptimo de una gramática, con una arquitectura mínima en la que las representaciones y las derivaciones estén sujetas a la condición cognitiva del mínimo esfuerzo. Con esta propuesta intenta responder a diversos frentes críticos, sobre todo provenientes de la biología evolutiva o de la psicología cognitiva. Para Chomsky (1995), la lengua es un sistema de conocimiento (competencia) formado por un léxico, que refleja todo tipo de variación, y por un único sistema computacional, cuyo estadio inicial es común a toda la especie. Los únicos niveles de representación de que consta el modelo minimalista son la *forma fonética* y la *forma lógica*, que son interfaces que alimentan respectivamente el sistema articulatorio-perceptivo y el sistema conceptual-intencional, capacidades cognitivas autónomas respecto de la facultad del lenguaje.

2.6. *Modelos formales alternativos*

Vinculados inicialmente a la *gramática generativa*, David Perlmutter y Paul Postal fundan, a inicios de los años setenta, una teoría que considera que las funciones gramaticales, y no las categorías, son los primitivos del lenguaje. La *gramática relacional* sustituye las transformaciones por operaciones realizadas en red, con el fin de captar más generalizaciones (Perlmutter 1983; Perlmutter y Ross 1984).

La *gramática de Montague* (Montague 1974) supone un intento de superar la distancia que algunos lógicos habían establecido con la gramática transformacional, a la que critican por la falta de elegancia y de precisión matemática en algunos de sus formalismos. Richard Montague considera que los lenguajes naturales pueden llegar a ser representados como lenguajes formales de gran precisión, y diseña una gramática, sin estructura profunda, formada por un léxico, cuyas piezas tienen asignada una categoría sintáctica y una traducción a la

lógica intensional, un conjunto de reglas sintácticas, similares a las reglas jerarquizadas de la gramática categorial de Bar-Hillel (1953), y un conjunto de reglas semánticas que traducen a la lógica intensional las reglas sintácticas.

La gramática relacional y la gramática de Montague son algunos de los trabajos que influyen en la eclosión, en los años ochenta, de toda una serie de gramáticas formales que se presentan, dentro del marco formalista, como alternativa a la ortodoxia chomskiana, para superar su complejidad y su falta de adecuación psicológica. Todas ellas tienen en común la aproximación lexicalista, una integración mayor de la semántica en el mecanismo central de la gramática y la desaparición de todo tipo de transformaciones o movimientos. Son ejemplos de esta tendencia la *gramática de construcciones*, de autores como Charles Fillmore, Paul Kay y Georges Lakoff, y que considera que la lengua es un conjunto de construcciones gramaticales y léxicas, y las denominadas *gramáticas de unificación*.

La unificación es una operación que combina funciones lógicas para construir una nueva función que asuma la información no contradictoria de las unificadas. Este procedimiento se utiliza en diversos modelos gramaticales generativos con el fin de optimizar su aplicabilidad computacional, como medida de validación de las expresiones lingüísticas generadas y como operador en todo tipo de procesos gramaticales (concordancia, coordinación, proyección sintáctico-semántica, relaciones anafóricas, selección léxica, etc.). Son gramáticas de unificación la *gramática léxico funcional* (Bresnan 1982), la *gramática de unificación funcional* (Kay 1983), la *gramática de estructura sintagmática generalizada* (Gazdar, Klein, Pullum y Sag 1985) y la *gramática de estructura sintagmática orientada al núcleo* (Pollard y Sag 1994).

3. LA LINGÜÍSTICA FUNCIONAL: EL LENGUAJE CONDICIONADO SOCIALMENTE

La corriente funcionalista del lenguaje se ha caracterizado por la diversidad de modelos y propuestas que se reconocen como integrantes de esta corriente, en oposición al paradigma formal encabezado por Chomsky. Desde nuevas metodologías de análisis del uso lingüístico en determinados grupos sociales hasta gramáticas que introducen elementos de la pragmática, encontramos múltiples aportaciones que abogan por la necesidad de describir el lenguaje a partir del estudio de los usos reales de los hablantes en situaciones comunicativas con-

cretas. La sociolingüística, la dialectología urbana de Labov, el análisis crítico del discurso, la tipología lingüística de Givón, las aportaciones de Halliday el análisis del discurso o la gramática de Dik son manifestaciones distintas que comparten la idea de que el lenguaje está motivado pragmáticamente. En todos los casos se trata de relacionar la estructura del lenguaje con las necesidades, los propósitos, los medios y las circunstancias de la comunicación humana.

Aunque la etiqueta funcionalista sea compartida por orientaciones tan dispares, siempre presentadas como alternativas al paradigma formalista dominante, se reserva la denominación de lingüística funcional a un grupo de modelos lingüísticos, que aparecen en Europa y en América a finales de los años sesenta, ocupados en el desarrollo de estudios de tipología lingüística y de gramáticas de base oracional cuyo antecedente es el estructuralismo funcionalista. Dejamos de lado, pues, en este apartado las aportaciones de la sociolingüística o del paradigma cuantitativo de Labov, que, aunque funcionalistas de orientación, se rigen por principios y metodologías bien distintos a los de la denominada lingüística funcional.

Como paradigma alternativo a la lingüística formal, el funcionalismo coincide con la lingüística cognitiva en la hipótesis de que las situaciones comunicativas condicionan los significados y, en consecuencia, las estructuras que los vehiculan. Con esta posición se abre la crítica a la propuesta de universales formales y se concentra la atención en el estudio de los usos reales y de la variación, en oposición a la propuesta de abstracciones uniformistas (estructuras profundas) que explicarían en el paradigma formal estos universales. Aunque muchos de estos modelos funcionalistas no descartan la necesidad de establecer generalizaciones que expliquen determinados fenómenos lingüísticos, su objetivo básico no es determinar la universalidad del lenguaje en el plano cognitivo, sino explicar el cambio y la variación lingüística en el plano social. Interesa el lenguaje en tanto que se trata de un fenómeno comunicativo, y deja de interesar la vertiente psicológica, que más adelante recuperará de nuevo la lingüística cognitiva.

3.1. *Antecedentes de la lingüística funcional*

Se considera que el funcionalismo arranca con la traducción al inglés en 1964 del artículo «On the potentiality of the phenomena of language» de Mathesius (1911). Profesor en la Universidad Carolina de Praga, Vilém Mathesius presentó en este artículo lo que él denominó una aproximación no historicista al estudio del lenguaje. Algunos de los lingüistas que compartían sus ideas, como el ruso Roman Jakob-

son, celebraron regularmente seminarios de discusión en Praga entre 1926 y 1945, lo que ha hecho que se les conozca como el Círculo Lingüístico de Praga, aunque los historiadores hayan incluido bajo esta denominación a otros autores contemporáneos checos y rusos, como Nicolai Trubetzkoy.

Las ideas principales del Círculo de Praga, que influyen definitivamente en el nuevo funcionalismo, sobre todo en el europeo, y que ya aparecían en el artículo de Mathesius, son las siguientes:

— Las estructuras fonológicas, gramaticales y semánticas del lenguaje están determinadas por las funciones que realizan en las comunidades en las que se usan.

— Las oraciones deben analizarse a partir de su perspectiva funcional.

— Hay que establecer una clara distinción entre la noción de estructura oracional y la de enunciado con función comunicativa.

— Las oraciones se estructuran informativamente a partir de las nociones de tema y rema.

Otro de los antecedentes inmediatos del funcionalismo británico, representado básicamente por Halliday, fue J. R. Firth. El que fue el primer profesor titular de lingüística en Gran Bretaña integra en su obra elementos básicos del estructuralismo saussuriano, el programa de sintaxis funcional del Círculo de Praga (conocido como *Las tesis de 1929*, trabajo colectivo presentado en el Primer Congreso de Filología Eslava) y nociones provenientes del antropólogo Bronislaw Malinowski. Malinowski (1923) defendía que el lenguaje no es un sistema en sí mismo (posición estructuralista extrema) sino que evoluciona por las demandas de la sociedad y su uso depende siempre del contexto. Entre las aportaciones de Malinowski están la distinción entre el contexto sintáctico (*utterance*) y el contexto comunicativo, las funciones pragmática, mágica y narrativa del lenguaje, y su conocida noción de la comunicación fática. Por su parte, Firth (1957) propone diversas categorías para relacionar el material lingüístico y el contexto cultural, como las acciones verbales y no verbales de los participantes, los objetos relevantes y el efecto de la acción verbal. Establece también una definición formal que permite consolidar el principio de que el significado es función en contexto, para lo cual utiliza una noción de sistema más restrictiva que la de Saussure, equivalente a un conjunto de opciones (*choices*) en un contexto específico. Algunos manuales históricos se refieren a las aportaciones de Firth y de Malinowski con el nombre de Escuela Lingüística de Londres.

Otros autores que ejercen una notable influencia en la obra de los diversos modelos funcionalistas fueron André Martinet y Eugenio Co-

seriu. Ambos representantes del estructuralismo europeo, aunque situados en posiciones metodológicas distantes, defienden una concepción dinámica del lenguaje, heredera de la tradición humboldtiana que presenta la lengua como proceso creativo. Para ambos, la lengua no es un producto sino un proceso continuo de adaptación a las necesidades comunicativas de los hablantes. Sus ideas tendrán una repercusión fundamental en la configuración de la gramática funcional de Dik.

Queremos subrayar que, en los antecedentes tanto del funcionalismo americano como del funcionalismo europeo, se mantienen elementos básicos del estructuralismo clásico de F. de Saussure, como la noción de sistema, la dicotomía entre lengua y habla, la dicotomía entre sincronía y diacronía, y los ejes de análisis paradigmático y sintagmático, aunque reformulados algunos de ellos mediante las aportaciones del estructuralismo funcional, representado por el Círculo de Praga o por autores como Martinet y Coseriu, o de la Escuela de Londres.

No debe sorprendernos que la obra de Noam Chomsky, aunque integrada exclusivamente en el paradigma de la lingüística formal, se convierta también en referencia obligada y repercuta de manera determinante en los debates y en la evolución del funcionalismo actual. Siguiendo a Martín Arista (1999), varios postulados del generativismo son compartidos por los modelos funcionalistas, como la noción de gramática generativa, la restricción del poder descriptivo de la teoría o los criterios de adecuación de un modelo gramatical. El tema de la gramática universal, recuperado por Chomsky de la tradición logicista del lenguaje, es fundamental para entender el interés por los estudios de tipología lingüística del funcionalismo americano. Algunas de las aportaciones de los funcionalistas se basan en la búsqueda de motivaciones funcionales a elementos definidos por la gramática generativa (Givón 1979). La crítica a las limitaciones que presenta *Aspects of the Theory of Syntax* (1962) que, desde la semántica, realizan autores como Charles Fillmore (1968), en «The Case for Case», está en la base de ciertos modelos gramaticales del funcionalismo, como la gramática del papel y la referencia de Foley y Van Valin (1980) o la gramática funcional de Dik (1968).

3.2. *Principios de la lingüística funcional*

La orientación principal de los modelos integrados en el funcionalismo es la descripción y la explicación de los hechos lingüísticos, dentro de un marco teórico más amplio que explique el fenómeno de la

comunicación social. La motivación de los estudios funcionalistas no se encuentra en la explicación de la vertiente psicológica del lenguaje, aunque algunas aportaciones no la descarten, sino en la voluntad de dar cuenta del lenguaje como fenómeno social.

En este sentido, los funcionalistas comparten la idea primordial de que el lenguaje está motivado pragmáticamente, o sea que las lenguas, tal como las conocemos, se han ido configurando como respuestas a las necesidades de comunicación en acciones interactivas ubicadas en contextos específicos. Desde el punto de vista teórico, el funcionalismo se rige por los siguientes principios:

— La función básica del lenguaje es la comunicación.

— El lenguaje está motivado pragmáticamente, cosa que condiciona el significado.

— El significado, restringido pragmáticamente, condiciona a su vez las estructuras de las lenguas particulares.

— Los universales lingüísticos están relacionados con las funciones del lenguaje.

— El lenguaje es un proceso dinámico.

— El control externo de los actos comunicativos explica la variación lingüística.

En el plano metodológico, los modelos funcionalistas comparten los siguientes postulados:

— La gramática pone en relación la estructura del lenguaje con las necesidades, los propósitos y las situaciones comunicativas.

— La semántica, restringida pragmáticamente, ocupa un lugar central en la descripción y explicación de los hechos lingüísticos.

— Para dar cuenta de los fenómenos lingüísticos, no puede desvincularse el análisis sincrónico del diacrónico.

— La lingüística debe ocuparse de los datos reales de la actuación lingüística, y no de abstracciones.

— Sólo con el análisis empírico contrastivo de un gran número de lenguas tipológicamente distintas podemos establecer generalizaciones sobre el lenguaje.

3.3. *El funcionalismo americano*

Los trabajos que surgen en Estados Unidos dentro de la órbita del funcionalismo se pueden organizar en dos grandes corrientes: los estudios de tipología lingüística y las propuestas de modelos gramaticales alternativos a la gramática generativa.

Con la denominación de gramática funcional tipológica se conocen los trabajos de tipo interlingüístico, cuyos autores más represen-

tativos son Charles Li, Talmy Givón y William Croft. Las teorías funcionales han estado siempre preocupadas por el análisis contrastivo, a fin de establecer generalizaciones válidas para el establecimiento de tipos lingüísticos y para la detección de correlaciones entre forma y función.

Coetáneamente al interés manifestado por la lingüística formal sobre la gramática universal, los funcionalistas toman como referencia la obra de Joseph H. Greenberg (1966, 1974), cuyos trabajos sobre tipología lingüística se centran en la formulación de universales de tipo sintáctico, a partir del análisis de un conjunto de treinta lenguas. La aproximación al estudio de los universales lingüísticos por parte de Greenberg difiere ostensiblemente de la realizada por Chomsky. Greenberg y la tradición funcionalista operan con un mayor número de datos y buscan una explicación funcional o pragmática para cada universal propuesto. En cambio, la tradición generativista opta por trabajar en detalle un número menor de lenguas, hacer propuestas con un mayor grado de abstracción y centrar la explicación de la gramática universal en la hipótesis del innatismo del lenguaje. Siguiendo a Bernard Comrie (1981), las dos aproximaciones más que oponerse se complementan, tanto metodológicamente como desde el punto de vista teórico, pudiéndose en este momento abogar por una solución de compromiso que busca la explicación de los universales lingüísticos tanto en la cognición como en los aspectos pragmáticos de la comunicación.

Así que, por oposición a los planteamientos abstractos del generativismo y por preferir descripciones interlingüísticas amplias, Charles Li parte de los resultados de Greenberg para buscar la motivación funcional de los universales lingüísticos detectados. Entre los años 1975 y 1977, Li publica tres libros en los que aborda las nociones funcionales de topicalización y focalización, entendidas como variaciones lingüísticas de transmisión de información motivadas por la adaptación al propósito comunicativo del hablante, y defiende la integración de la sincronía y la diacronía en el estudio de las lenguas.

En los primeros trabajos de Givón (1979) se muestra la preocupación por encontrar argumentos antiformalistas y datos empíricos que demuestren la motivación funcional de las estructuras gramaticales. En sus análisis asigna funciones semánticas y funciones pragmáticas a las estructuras, y defiende el isomorfismo entre forma y función. Redefine, mediante la introducción del criterio de adaptación, el concepto de competencia comunicativa de los hablantes que Hymes (1972) había propuesto como complemento al de competencia gramatical de Chomsky (1957). Otra de las novedades que presenta la gramática ti-

pológica funcional, a través de su máximo representante Givón, es el alejamiento programático de algunos postulados del estructuralismo que habían heredado los primeros modelos funcionalistas. Givón defiende la integración de sincronía y diacronía, pone en cuestión la arbitrariedad del signo lingüístico y considera que el estudio de la lingüística debe centrarse, no en la lengua como sistema social idealizado, sino en las realizaciones de habla, que es donde se ejerce la presión de la adaptación funcional.

En los años ochenta y noventa, los trabajos de Talmy Givón, y también los de William Croft, representan el puente abierto en los estudios sobre tipología lingüística entre el funcionalismo y el nuevo paradigma establecido por las ciencias cognitivas. Esta evolución la comparten la mayoría de lingüistas que han centrado su obra en el cambio lingüístico: iniciados en los postulados del funcionalismo antiformalista han ido incorporando presupuestos psicologistas con el fin de completar la explicación del lenguaje como conjunto de estrategias motivadas. Para estos autores, la gramática universal consiste en una variedad de funciones a las que el lenguaje se plantea servir (Croft 1991). La motivación de la gramática universal para la aproximación funcionalista es, en última instancia, también biológica, pero centrada en el concepto evolutivo de adaptación al medio. Fenómenos, como la iconicidad del lenguaje o los procesos de gramaticalización, son presentados como motivadores funcionales de muchas estructuras y como elementos de validación psicológica, ya que están relacionados con habilidades cognitivas de tipo general.

A mitad de los años setenta e inicios de los ochenta, y como alternativa a la corriente transformacionalista predominante, William A. Foley y Robert D. van Valin elaboran un modelo gramatical de corte sintactista que desemboca en la denominada gramática del papel y la referencia (*Role and Reference Grammar*). Consideran que la gramática generativa está demasiado centrada en el análisis de la lengua inglesa, y comparten con Fillmore (1968) el argumento de que las categorías sintácticas de los formalistas carecen de aplicabilidad interlingüística y que deben ser sustituidas por funciones semánticas de rango universal.

El modelo del papel y la referencia es una gramática oracional, regida por la asignación de funciones o papeles semánticos y por la capacidad referencial de los sintagmas nominales de la oración; de aquí su nombre. Se inscribe dentro del funcionalismo, ya que integra el estudio de las funciones del lenguaje y considera que las estructuras están controladas externamente por funciones semánticas y pragmáticas. El modelo presenta dos niveles de representación: una estructura se-

mántica, constituida por un predicado verbal y sus argumentos, y una estructura morfosintáctica, resultado de la evolución histórica, que está determinada por factores semánticos, pragmáticos y sociales. Para Foley y Van Valin la gramática consiste en la proyección de la estructura semántica a una estructura morfosintáctica determinada. Con una organización modular muy parecida a la de algunos modelos formalistas, su condición de gramática funcionalista condicionada pragmáticamente no ha sido suficiente para alcanzar una gran proyección como alternativa en el marco norteamericano, a diferencia de su homóloga europea, la gramática funcional de Dik.

3.4. *El funcionalismo europeo*

La dilatada carrera de Michael A. K. Halliday se muestra como un claro ejemplo de la evolución de la corriente funcionalista. Discípulo de Firth, a finales de los años cincuenta y principios de la sesenta Halliday desarrolla su primer modelo gramatical, conocido como gramática de escalas y categorías (*Scale and Category Grammar*). Se trata de un modelo de descripción lingüística, basado en las ideas lingüísticas de Firth, para construir un modelo gramatical capaz de explicar qué es el lenguaje y cómo funciona. La gramática debe dar cuenta tanto de las unidades mínimas (caracteres y morfemas) como de las máximas, las oraciones. Las unidades están organizadas jerárquicamente en escalas y pertenecen a clases distintas, de acuerdo con la posición que ocupan en el sistema, que es visto como un conjunto de opciones para cada posición en la estructura.

Aunque sin abandonar el propósito holístico que encierra su propuesta de modelo gramatical, Halliday va decantando su trabajo, a finales de los años sesenta e inicios de los setenta, hacia la llamada gramática sistémica (*Systemic Grammar*). En ella la noción anterior de sistema se modifica a favor de la idea de red de sistemas (*network of systems*), en la que las opciones (*choices*) se realizan de manera simultánea, en unos casos de manera independiente y desordenada, y en otros de manera dependiente y ordenadas jerárquicamente. Considera que las opciones entre unidades lingüísticas en el plano paradigmático son más determinantes que las opciones entre estructuras sintagmáticas, ya que las primeras reflejan la capacidad semántica del lenguaje (Halliday 1970). La teoría del lenguaje de Halliday se inscribe dentro de una teoría más amplia de semiótica social. El lenguaje no es visto como un conjunto de estructuras y de reglas, sino como un discurso, es decir, un intercambio de significados en contextos interpersonales. En estas interacciones es donde reside la creatividad

del lenguaje, en las opciones que se realizan contextualmente y no en reglas formales subyacentes. En este sentido, define la noción de función como el elemento máximo de generalización: *pero subyaciendo a tales instancias específicas del uso del lenguaje está una función más general común a todas las culturas* (Halliday 1970). Las funciones ideacional, interpersonal y textual son consideradas universales del lenguaje.

Como sistema social, el lenguaje está sujeto a dos tipos de variación, la relacionada con los hablantes (idiolectos y dialectos) y la variación de uso o registro lingüístico. El registro se define como la variedad textual o configuración de recursos semánticos que el miembro de una cultura asocia típicamente a una situación tipo (Halliday 1978). La noción de registro permite correlacionar las funciones universales del lenguaje con los aspectos concretos de las situaciones comunicativas. Así las variables de campo (*field*), tenor (*tenor*) y modo (*mode*), que configuran el registro de uso, determinan respectivamente las opciones que el hablante realiza en los componentes ideacional, interpersonal y textual para cada situación comunicativa.

A partir de los años ochenta, el modelo de Halliday se concentra en la exploración de las funciones del lenguaje en las estructuras oracionales, en la interpretación de los patrones gramaticales en términos de configuración de funciones relevantes para el análisis de los textos. Esta nueva revisión del modelo, nombrada gramática funcional (*Functional Grammar*), presenta en detalle el funcionamiento de la gramática que se ocupa del ensamblaje entre las opciones ofrecidas desde los componentes ideacional e interpersonal para la construcción del mensaje, mediante la función textual (Halliday 1985). Concentrado en datos de la lengua inglesa, el modelo se convierte en una gramática descriptiva del inglés, donde se presentan, entre otros, los mecanismos que intervienen en las opciones sobre la modalidad oracional, el orden de constituyentes, la estructura informativa en tema y rema, la selección de voz activa o pasiva, la elección de complementos circunstanciales o la realización de determinados verbos, sintagmas nominales o adverbios, siempre siguiendo el marco teórico funcional y discursivo presentado.

El otro gran representante del funcionalismo europeo es Simon Dik, que desde la Universidad de Ámsterdam ejerció una influencia determinante en muchos trabajos lingüísticos del norte y del centro de Europa, y también de Canadá. Los antecedentes de su obra se encuentran en los postulados del Círculo de Praga y en las ideas de dinamicidad extraídas de Martinet y Coseriu. Cabe destacar también que en los primeros años de su carrera Dik residió en Estados Unidos,

lo que explicaría las conexiones de su obra con determinados aspectos del funcionalismo americano, tanto por su interés en la tipología lingüística como por las similaridades que su modelo tiene en relación con la gramática de papel y referencia, y también por las coincidencias parciales con la obra de Chomsky o el conocimiento directo de las aportaciones críticas de Fillmore.

Los precedentes inmediatos de la gramática funcional (*Functional Grammar*) de Dik se encuentran en su tesis doctoral de 1968 sobre la coordinación, donde hace una crítica a los planteamientos de *Aspects of the Theory of Syntax* (1965), basándose en las limitaciones del modelo de Chomsky para explicar la coordinación. Dik defiende la necesidad de introducir argumentos semánticos para dar cuenta de algunos elementos de la coordinación y pone en entredicho que las funciones gramaticales puedan ser explicadas exclusivamente por relaciones de configuración estructural, además de plantear otro tipo de inconsistencias en los mecanismos formales utilizados en el modelo generativo del momento. Entre las líneas esbozadas que iban a guiar su modelo están la supresión de la estructura profunda y de las transformaciones, el establecimiento de un único nivel de representación gramatical (sintáctico, semántico y pragmático) y la negación de la autonomía de la sintaxis a favor de la semántica. No obstante, Dik comparte con Chomsky la visión de la gramática como parte de la psicología cognitiva y la vocación universalista del modelo.

A diferencia de Halliday, que basa su gramática en las nociones de sistema y de función, Dik se centra en la noción de competencia comunicativa de Hymes (1972), que suma la competencia gramatical o habilidad para formar e interpretar oraciones a la competencia pragmática, vista como la habilidad para usar expresiones en contextos determinados y conseguir con ellas el efecto comunicativo deseado. La gramática funcional es una teoría del componente gramatical de la competencia comunicativa (Dik 1978), o sea, que se trata de una teoría parcial que se inscribe dentro de un marco más amplio que explicaría la comunicación humana.

La función del modelo es describir y explicar los hechos del lenguaje siguiendo criterios de adecuación pragmática, psicológica y tipológica. Considera que para poder distinguir los hechos particulares de los fenómenos generales, conviene que la semántica se sitúe en el núcleo del mecanismo gramatical, en las entradas léxicas, y que la pragmática regule las restricciones a las reglas. Se trata de una gramática de tipo oracional, basada en la noción de término y de predicado. Describe las expresiones lingüísticas a partir de predicaciones subyacentes, constituidas por términos (unidades léxicas referenciales

y predicativas), que se insertan en marcos de predicación generales (*predicate frames*). El núcleo de la gramática lo constituyen un conjunto de términos y un conjunto de marcos predicativos con información semántica y sintáctica para poder ser expandidos; esta expansión de las predicaciones se realiza mediante la inserción de operadores y la asignación de funciones gramaticales y pragmáticas; y finalmente las reglas de expresión, que regulan la forma, el orden y la prosodia de los constituyentes, convierten las predicaciones expandidas subyacentes en expresiones lingüísticas o actos de habla concretos.

A finales de los años ochenta y en los noventa, la evolución del modelo se concentra en acabar de definir los mecanismos que regulan el modelo gramatical. Se desarrolla la denominada teoría de los términos, basada en la dicotomía predicado-término, que regula la formación de sintagmas y de oraciones. Los marcos predicativos se enriquecen como elementos de representación de la información lógica y de la información enciclopédica. Y se introduce en el mecanismo de descripción una estructuración jerárquica de las oraciones (*clauses*) basada en criterios semánticos, como la distinción entre argumentos, satélites (en otros modelos gramaticales, adjuntos o circunstanciales) y operadores relacionales sin significado léxico. El modelo de Dik se muestra como un marco teórico potente para dar cuenta de los factores que guían el uso del lenguaje por parte de los hablantes, a partir de un sistema gramatical formal, de naturaleza semántica, desarrollado en el cerebro mediante la competencia comunicativa. La orientación psicologista de Dik, sin abandonar los presupuestos funcionalistas más fuertes, lo sitúa en una posición de síntesis, cercana a planteamientos de los modelos formalistas actuales y cercana también a las posiciones de la lingüística cognitiva.

4. LA LINGÜÍSTICA COGNITIVA: UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA AL LENGUAJE

La publicación en 1987 de la obra de G. Lakoff *Women, Fire and Dangerous Things* supone uno de los puntos de partida de una corriente aparentemente nueva que da lugar al reconocimiento de la lingüística cognitiva como una nueva aproximación al lenguaje y a las lenguas. Cabe destacar que la lingüística cognitiva nace en Estados Unidos y desde aquí se expande a los demás países, por lo que hay que explicar esta nueva aproximación dentro del marco de la lingüística estadounidense y como una continuación —aunque mayoritaria y fundamentalmente crítica— de la lingüística desarrollada en los Estados

Unidos. La lingüística cognitiva fue considerada inicialmente una propuesta débil y difusa por los lingüistas de la escuela generativo-transformacional, y así siguen considerándola los lingüistas partidarios de la gramática formal, pero hay que constatar que cada vez es mayor el número de lingüistas que se adhieren a sus principios, más acordes con los avances en la investigación psicológica, antropológica y neurológica. La Asociación Internacional de Lingüística Cognitiva (ICLA) se fundó en Ámsterdam en 1997.

4.1. *Orígenes y estado actual*

A pesar de que la obra de G. Lakoff se ha tomado como el punto de partida de la lingüística cognitiva, es justo decir que los postulados que fundamentan esta nueva aproximación se pueden rastrear a través de numerosos trabajos de lingüistas americanos (entiéndase de América del Norte, y más precisamente de los Estados Unidos) que a lo largo de la segunda mitad del siglo XX complementaron, matizaron o discutieron muchos de los postulados de las corrientes oficiales del momento: el estructuralismo denominado «americano» (en contraposición a las corrientes estructuralistas europeas) y el generativismo inspirado por Noam Chomsky.

En efecto, tanto algunas propuestas que intentaron asociar la semántica a la mera concepción formal de los modelos chomskianos más ortodoxos (es el caso de C. J. Fillmore), como las teorías de algunos disidentes de los postulados canónicos (como por ejemplo la semántica generativa encabezada por seguidores de N. Chomsky, entre ellos el mismo G. Lakoff), como otras corrientes paralelas que han surgido en Estados Unidos (R. Jackendoff es el caso más representativo) o se han inspirado en la tradición escolar americana (A. Wierzbicka, T. Givón) son actualmente puntos de obligado estudio para dar una visión no lineal de la aparición de la lingüística cognitiva.

Previamente a los trabajos lingüísticos, las investigaciones de la psicóloga E. Rosch (1973*a*, 1973*b*, 1978) sobre la categorización fueron las aportaciones pioneras en este ámbito. Rosch mostró que la categorización, proceso mental de clasificación cuyo producto son las categorías cognitivas, no desemboca en clases cerradas y bien establecidas de elementos que comparten unas propiedades bien definidas, sino que las categorías se asocian con un prototipo representado por el ejemplar de un conjunto que mejor representa los rasgos característicos de cada categoría. Dentro de este conjunto existen ejemplares más centrales y otros más periféricos. La propuesta de Rosch pone, pues, en tela de juicio la definición de las categorías por medio de

condiciones necesarias y suficientes abriendo el camino de su definición como conjuntos de rasgos y relaciones de semejanza que pueden representarse en un eje gradual.

Los primeros trabajos lingüísticos articulados y presentados implícita o explícitamente como una alternativa a la lingüística oficial están representados por la monografía de G. Lakoff publicada en 1987, ya citada, y la aparición el mismo año del primer volumen de la obra *Foundations of Cognitive Grammar*, vol. I: *Theoretical Prerequisits* de R. W. Langacker (cuyo segundo volumen *Foundations of Cognitive Grammar*, vol. II: *Descriptive Application* aparece en 1991).

Actualmente la lingüística cognitiva es una aproximación teórica extendida en el mundo entero. Buena muestra de ello es la convocatoria desde 1989 de un congreso internacional bianual patrocinado por la ICLA y la apertura en algunas editoriales de prestigio de series dedicadas específicamente a esta corriente de pensamiento en lingüística.

4.2. *La lingüística, dentro de las ciencias cognitivas*

Aunque los trabajos de Lakoff y Jackendoff son los que dentro de la lingüística representan más explícitamente las propuestas cognitivas, no podemos dejar de subrayar que el cognitivismo como propuesta teórica es una corriente de base interdisciplinar y transdisciplinar en la que se dan encuentro la psicología, la filosofía, la antropología, la neurología, la inteligencia artificial y la lingüística. Este espacio de encuentro concentrado en el estudio de la cognición humana recibe hoy la denominación genérica de ciencia cognitiva (o ciencias cognitivas para algunos que no comparten la propuesta de un plano abstracto común a todas las materias implicadas). Lo que da unidad a este campo de conocimiento es el hecho de centrar la atención en el estudio de la cognición desde su poliedricidad constitutiva y compartir determinados principios sobre el proceso de cognición y sus consecuencias en el comportamiento humano. Esta poliedricidad permite a cada disciplina poner su centro en determinados aspectos de este proceso o de sus consecuencias.

De hecho, la investigación de los que dicen situarse dentro de las ciencias cognitivas no se define en absoluto por una temática común, ni tampoco necesariamente por la frecuencia de objetos de estudio más prominentes, sino que yace en la adopción de dos postulados de carácter filosófico que se transforman en tesis científicas:

1) la concepción del dualismo entre la mente y el cerebro;
2) la simulación artificial de los procesos mentales.

Este segundo postulado se ha interpretado de tres maneras diferentes: *a*) como simple simulación de los *outputs* sin preocuparse de los procesos que los han derivado; *b*) como simulación de los *outputs* y de las operaciones mentales de las que derivan; y *c*) como simulación de los procesos cerebrales. De este modo, la noción de simulación representa en el primer grado la cooperación de la lingüística con la informática, en el segundo, la asociación de la lingüística a la psicología, y en el tercero, la cooperación de la lingüística y las neurociencias.

Estos dos postulados están en sintonía con un tercer postulado de carácter gnoseológico que sostiene que el conocimiento es una representación simbólica de la realidad.

Las bases compartidas por todas las materias que forman parte de las denominadas ciencias cognitivas podrían resumirse en la concepción de la cognición que caracteriza al realismo experiencial en filosofía, posición radicalmente contrapuesta al denominado objetivismo:

a) No preexiste objetivamente un mundo exterior al que los humanos puedan acceder directa y objetivamente a través de sus mecanismos de percepción, sino que percibimos este mundo a través de la cognición mediatizada por el pensamiento y la cultura. La mente humana no puede ser, pues, un reflejo de la naturaleza sino la transformación de esta naturaleza por la experiencia.

b) El pensamiento no se limita al manejo sistemático de símbolos abstractos aplicados a los objetos del mundo que intenta reflejar sino que forma parte de una estructura global de la conceptualización de la realidad en la que participan simultáneamente todos los mecanismos perceptivos de los seres humanos.

c) El pensamiento humano es holístico, y no se reduce por lo tanto a módulos de funcionamiento autónomo.

d) El pensamiento no es necesariamente lógico, sino creativo e imaginativo, y, en consecuencia, su descripción va más allá de la reducida propuesta del neopositivismo dominante en la ciencia.

4.3. *Principios de la lingüística cognitiva*

De acuerdo con estos principios generales la concepción del lenguaje de los cognitivistas es necesariamente diferente de la sostenida por generativistas y estructuralistas.

Así, los principios específicos descritos por Langacker (1987 y 1991) que caracterizan la lingüística cognitiva pueden resumirse en los siguientes:

a) La descripción del lenguaje no puede limitarse a la gramática sino que debe abarcar el uso y, dentro del uso, la lingüística, además

de dar cuenta de los aspectos estructurales de las expresiones, debe dar cuenta de sus funciones cognitiva (cómo categorizamos y representamos el resultado de la categorización) y comunicativa (cómo transferimos y en qué distintas situaciones lo hacemos).

b) La categorización no desemboca en clases autónomas perfectamente delimitadas sino en categorías de límites imprecisos que pueden distribuirse en ejes graduales. En consecuencia, la categorización como proceso no puede reducirse al establecimiento de condiciones necesarias y suficientes establecidas en la lógica aristotélica sino que hay que contemplar el *continuum* en la base de la categorización.

c) El lenguaje es un sistema inherentemente simbólico y, en consecuencia, su descripción debe asociar la semántica a la estructura formal.

d) Si el lenguaje es además de representación cognitiva una herramienta de comunicación, la pragmática está también asociada a su descripción. Es en el uso del lenguaje donde se manifiestan las propiedades que encontramos en su gramática.

Un rasgo destacable de la lingüística cognitiva es que sus conceptos fundamentales no son consecuencia de una teoría sino que, compartidos por lingüistas, psicólogos y filósofos que forman parte de esta corriente, emergen de los datos empíricos que son confirmados por otras disciplinas. Estos conceptos fundamentales derivan todos ellos de la idea de que el lenguaje forma parte de la cognición, que es reflejo de la interacción de factores culturales, psicológicos, comunicativos y funcionales y que sólo puede concebirse desde una posición realista de la conceptualización y del procesamiento como operaciones mentales.

Dentro de esta concepción destacan seis ideas asumidas por todos los lingüistas denominados cognitivos:

— el estatus de la cognición lingüística;
— el estatus del significado;
— el estatus de la predicción;
— la corporeidad (*embodiment*) del significado;
— la estructura de las categorías cognitivas;
— la organización en espacios mentales.

En lo que concierne al estatus de la cognición, para un lingüista cognitivo la cognición lingüística es simple y llanamente cognición, es decir, que no posee ningún estatus especial ni independiente de los demás tipos de cognición. Los patrones de cognición son los mismos para todos los sistemas de percepción. La idea de que el lenguaje constituye un módulo distinto a otros sistemas perceptivos o la de que en el módulo del lenguaje se dan diferentes submódulos o niveles diferenciados de procesamiento son para el cognitivismo totalmente gra-

tuitas. El lenguaje es un sistema multifacético en el que las distintas facetas están en permanente interconexión. Se trata de un fenómeno global entre cuyas vertientes no existe separación sino continuidad. Así entre fonología, morfología, sintaxis y semántica no existe una separación tajante sino un *continuum* representado por los distintos fenómenos del lenguaje. Cada fenómeno se describe no como una categoría híbrida sin límites discretos, sino que forma parte de un *continuum* en el que se sitúa cada categoría. Si bien la idea de que una categoría no es nítidamente discreta no es algo nuevo en lingüística, sí lo es la pertinencia y centralidad de esta propiedad en la lingüística cognitiva.

Todas las actividades y fenómenos lingüísticos así como todas las actividades cognitivas son producto de una única causa: convertir en sentido lo existente en la realidad. Esta compleja operación no se limita a la comprensión sino que incluye también la expresión de lo que se ha comprendido. Así, comprensión y expresión mantienen entre sí una relación de circularidad que permite una alimentación recíproca: la experiencia configura la expresión y a su vez los recursos expresivos determinan la manera como percibimos las experiencias. Esta capacidad de adquirir experiencia y expresarla está orientada al único objetivo de producir significado. Podemos incluso decir que el significado es lo que mueve el lenguaje. Desde el punto de vista de la lingüística cognitiva, pues, el significado impregna todos los estadios de la actividad lingüística y, por lo tanto, está presente en todos los elementos de la gramática de una lengua. Una gramática se concibe como una estructura abstracta de significado que interactúa permanentemente con el significado más concreto del léxico.

La gramática y el léxico no representan dos tipos de significado diferente sino polos de un mismo eje de significado en el que están representadas todas las clases gramaticales, incluidas las de transición entre el léxico y la sintaxis, como las preposiciones y conjunciones.

En lo que se refiere al estatus de la predicción, la lingüística cognitiva parte del principio de que en las lenguas no todo es predecible, sino que existen en ellas amplias zonas de impredictibilidad. Pero que un fenómeno no sea predecible no presupone que sea necesariamente arbitrario desde el punto de vista de su motivación profunda. Así pues, aunque superficialmente dos variantes pueden ser igualmente impredecibles, la prominencia de una sobre la otra puede obedecer a patrones de motivación. Las categorías lingüísticas son categorías radiales de efectos prototípicos, teniendo en cuenta que el significado, a través de la experiencia, se corporeiza y elabora mediante vías como la metáfora, la metonimia u otros fenómenos como la acronimia. La

lingüística cognitiva, lejos de poner énfasis en la predicción, se propone comprender cómo la cognición humana determina los fenómenos lingüísticos e intenta explicarlos no a través de reglas, sino de orientaciones y tendencias.

Dada la importancia del significado en la lingüística cognitiva parece lógico constatar que es para ella esencial describir el significado y entender cómo y de dónde surge. En este sentido asume la idea de que el significado está corporeizado, es decir, interiorizado en la experiencia corporal. Esto significa que forma parte de la experiencia humana compartida. E hipotetiza que su representación se hace a través de «esquemas de imágenes». La representación icónica de las locuciones preposicionales *antes de/después de* o de los verbos *ir/venir* muestra los esquemas con que trabaja la lingüística cognitiva para representar el significado. La razón que subyace a esta hipótesis es que la experiencia está filtrada por la percepción y que ésta no corresponde a la descripción del mundo real sino que es la descripción de la percepción humana. De hecho, la lingüística cognitiva no trata de establecer correspondencias entre las unidades y el mundo real, sino que trata de explorar cómo la percepción humana y las capacidades conceptuales determinan el significado.

En relación a cómo la lingüística cognitiva concibe las categorías cabe decir que considera que las categorías lingüísticas no sólo «se corresponden a» categorías cognitivas, sino que «son» categorías cognitivas.

De acuerdo con esta hipótesis la estructura de todas las categorías es la misma. La teoría del prototipo desarrollada por E. Rosch le sirve a la lingüística cognitiva para describir las clases de unidades. Así, todas las categorías lingüísticas se definen dentro de un paradigma que agrupa ejemplares distintos aunque todos relacionados porque poseen algún aspecto común. Dentro de cada paradigma el ejemplar que mejor representa los rasgos prominentes de este paradigma se considera el ejemplo prototípico, y los demás ejemplos se ordenan en relación a él. La prominencia de los rasgos varía según la lengua, porque aunque en sentido general depende de cómo los seres humanos perciben la realidad, la experiencia condiciona la percepción de esta realidad, y el lenguaje es uno de los elementos que influye en y es influido por la experiencia.

Los miembros de un paradigma no únicamente se relacionan entre sí sino también con elementos de otros paradigmas con los que guardan algún tipo de relación, relación especificada como «aire de familia». Las categorías complejas se representan de este modo como series de cadenas de categorías relacionadas radialmente con un determinado prototipo. Para la lingüística cognitiva es mucho más im-

portante tratar de establecer la estructura de una categoría que no establecer sus fronteras, porque parte del principio de la ausencia de límites definidos estables entre los distintos fenómenos cognitivos.

Finalmente, la lingüística cognitiva asume que la cognición y el uso del lenguaje condicionan el acceso y la manipulación de espacios mentales. La noción de «espacio mental» fue desarrollada por Fauconnier (1985). Los seres humanos construyen los espacios mentales a partir de la experiencia perceptiva y los difunden mediante procesos de proyección de carácter visual. Los tres procesos más representativos estudiados hasta el momento son, como se ha mencionado, la metáfora, la metonimia y la acronimia.

4.4. *La lingüística cognitiva: ¿ampliación de la teoría lingüística o nuevo paradigma?*

La característica de *cognitiva* aplicada a la lingüística es, sin embargo, muy ambigua todavía, y se suele utilizar con distintos valores y distintos grados de precisión. Para algunos es cognitiva toda aproximación que se refiere al conocimiento, para otros es una manera de aproximarse a los fenómenos. En esta segunda acepción los que se denominan cognitivistas comparten una serie de principios que se han especificado anteriormente.

Hay que subrayar que en un principio fueron los generativistas los primeros en utilizar la etiqueta de «cognitiva» aplicada a la lingüística. Para ellos el adjetivo «cognitivo» servía para caracterizar las posiciones mentalistas de la teoría chomskiana y diferenciarlas de las propuestas conductistas desarrolladas en psicología.

La lingüística cognitiva actual sin embargo se afana a diferenciarse de la teoría generativo-transformacional y se presenta a sí misma como un nuevo paradigma. Esta distinta caracterización, considerada por unos como una simple reorganización de conceptos de la lingüística anterior al formalismo, y para otros un nuevo paradigma alternativo al formalismo, es todavía hoy en día una fuente de controversia.

Parece cierto que la lingüística cognitiva tiene una concepción distinta del lenguaje y las lenguas de la asumida por la lingüística dominante en la segunda mitad del siglo XX y representada simplificadamente por la teoría chomskiana. Esta diferenciación es mayor si se contrastan directamente los principios de ambas teorías. Para la lingüística chomskiana el objeto esencial de la lingüística es el estudio del lenguaje concebido como capacidad innata ligada a la especie humana. Esta capacidad se manifiesta en la posibilidad de expresar y comprender un número indefinido de oraciones en una lengua. En la

teoría generativa es la gramática universal la que recoge los principios y las propiedades que poseen todas las lenguas, y cada gramática particular la que describe cada una de las lenguas. Las diferencias entre lenguas se explican como variaciones paramétricas de los principios de la gramática universal. En esta gramática la sintaxis ocupa el lugar central del procesamiento de la información, aunque el léxico haya ido adquiriendo cada vez un papel más relevante.

Si la competencia lingüística es para la teoría chomskiana el centro de atención de los lingüistas y el uso del lenguaje se relega a disciplinas marginales, para la lingüística cognitiva el lenguaje se concibe como un instrumento de conceptualización que se basa en mecanismos generales del sistema cognitivo.

Para los cognitivistas esta nueva aproximación representa un nuevo paradigma fundamentado en un cambio en la concepción del lenguaje (papel simbólico y naturaleza cognitiva), por la necesaria asociación de la semántica y la pragmática, por la centralidad de la semántica y su presencia indispensable en todos los componentes de la gramática y, por lo tanto, en todos los procesos lingüísticos, por la concepción de las categorías lingüísticas como categorías cognitivas, y por la caracterización de la estructura interna de estas categorías, de forma que no se definen como clases cerradas que poseen un conjunto de propiedades necesarias y suficientes, sino como ejemplares más cercanos o más alejados de un prototipo.

Una tercera vía considera la lingüística cognitiva como una propuesta «recicladora» en lingüística (Cuenca y Hilferty 1999, 207), que toma material de diversas fuentes lingüísticas y las organiza en un campo de conocimiento situado en un marco de principios bien establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

Bar-Hillel, Y. (1953), «A Quasi-Arithmetical Notation for Syntactic Description»: *Language* 29, 47-58.

Beattie, J. (1788), *Theory of Language*, London.

Blomfield, L. (1939), *Linguistic Aspects of Science. International Encyclopedia of Unified Science*, vol. 1.4, University of Chicago Press, Chicago.

Bresnan, J. (ed.) (1982), *The Mental Representation of Grammatical Relations*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Butler, C. S. (1985), *Systemic Linguistics: Theory and Applications*, Batsford Academic and Educational, London.

Butler, C. S. *et al.* (1999), *Nuevas perspectivas en Gramática Funcional*, Ariel, Barcelona.

Butler, C. S. *et al.* (eds.) (1997), *A fund of Ideas: Recent Developments in Functional Grammar*, Institute for Functional Research into Language and Language Use, Amsterdam.

Chomsky, N. (1957), *Syntactic Structures*, Mouton, The Hague.

Chomsky, N. (1959), «Review of Skinner (1957)»: *Language* 35, 26-58.

Chomsky, N. (1965), *Aspects of the Theory of Syntax*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Chomsky, N. (1970), «Remarks on Nominalization», en N. Chomsky (1972), *Studies on Semantics in Generative Grammar*, Mouton, The Hague.

Chomsky, N. (1981), *Lectures on Government and Binding*, Foris, Dordrecht.

Chomsky, N. (1986), *The Knowledge of Language: Its Nature, Origin and Use*, Praeger, New York.

Chomsky, N. (1986), *Barriers*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Chomsky, N. (1995), *The Minimalist Program*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Chomsky, N. (2002), «Indagaciones minimalistas», en N. Catalá, J. A. Díez Calzada y J. E. García-Albea (coords.), *El lenguaje y la mente humana*, Ariel, Barcelona.

Comrie, B. (1981), *Language Universals and Linguistic Typology*, Blackwell, Oxford.

Croft, W. (1990), *Typology and universals*, Cambridge University Press, Cambridge.

Croft, W. (1991), *Syntactic Categories and Grammatical Relations*, Chicago University Press, Chicago.

Cuenca, M. J. e Hilferty, J. (1999), *Introducción a la lingüística cognitiva*, Ariel, Barcelona.

Descartes, R. (1647), «Notes directed against a certain programme», en E. S. Haldanne y G. T. Ross (eds.) (1955), *The Philosophical Works of Descartes*, Dover, New York.

Dik, S. C. (1968), *Coordination: its implications for the theory of general linguistics*, North Holland, Amsterdam.

Dik, S. C. (1978), *Studies in Functional Grammar*, Academic Press, New York.

Dik, S. C. (1978), *Functional Grammar*, North-Holland, Amsterdam.

Dik, S. C. (1989), *The Theory of Functional Grammar*, vol. I: *The Structure of the Clause*, Foris, Dordrecht.

Dik, S. C. (1997), *The Theory of Functional Grammar*, vol. 2: *Complex and Derivated Constructions*, Mouton de Gruyter, Berlin.

Fauconnier, G. (1985), *Mental Spaces: Aspects of Meaning Construction in Natural Language*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Fillmore, C. J. (1963), «The position of embedding transformations in a grammar»: *Word* 19, 208-231.

Fillmore, C. J. (1968), «The Case for Case», en E. Bach y E. Harms (eds.), *Universals in Linguistic Theory*, Holt, Rinehart and Wilson, New York, 1-90.

Fillmore, C. J. (1985), «Frames and the semantics of understanding»: *Quaderni di Semantica* 6 (2), 222-254.

Fillmore, C. J. y Kay, P. (2000), *Construction Grammar*, CSLI, Stanford.

Firth, J. R. (1957), *Papers in Linguistics 1934-1951*, Oxford University Press, London.

Foley, W. A. y van Valin, R. D. (1984), *Functional Syntax and Universal Grammar*, Cambridge University Press, Cambridge.

Gazdar, G. *et al.* (1985), *Generalized Phrase Structure Grammar*, Blackwell, Oxford.

Geeraerts, D. (1989), «Introduction: Prospects and problems of prototype theory»: *Linguistics* 27 (4), 587-612.

Givón, T. (1979), *On Understanding Grammar*, Academic Press, New York.

Givón, T. (1993), *English Grammar: A Fuction-Based Introduction*, 2 vols., John Benjamins, Amsterdam.

Givón, T. (1995), *Functionalism and Grammar*, John Benjamins, Amsterdam.

Goldberg, A. E. (1995), *Constructions: A Construction Grammar Approach to Argument Structure*, University of Chicago Press, Chicago.

Greenberg, J. H. (1966), *Universals of Language*, 2.ª ed., MIT Press/London, Cambridge, Mass.

Greenberg, J. H. (1974), *Language Typology: A Historical and Analytic Overview*, Mouton, The Hague.

Halliday, M. A. K. (1961), «Cathegories of the Theory of Grammar»: *Word* 17, 241-292.

Halliday, M. A. K. (1970), «Language structure and language function», en J. Lyons (ed.), *New Horizons in Linguistics*, Penguin, Harmondsworth, 140-165.

Halliday, M. A. K. (1978), *Language as Social Semiotic*, Edward Arnold, London.

Halliday, M. A. K. (1985), *An Introduction to Functional Grammar*, Edward Arnold, London.

Harris, Z. S. (1951), *Methods in Structural Linguistics*, University of Chicago Press, Chicago.

Hengeveld, K., Olbertz, H. y Sánchez García, J. (eds.) (1999), *The Structure of the Lexicon in Functional Grammar*, John Benjamins, Amsterdam.

Hymes, D. (1972), *Towards Communicative Competence*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.

Hockett, C. F. (1953), «Reseña de C. Shannon y W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*»: *Language* 29, 69-93.

Hoekstra, T., van der Hultst, H. y Moortgat, M. (eds.) (1981), *Perspectives on Functional Grammar*, Foris, Dordrecht.

Hopper, P. J. y Traugott, E. (1993), *Grammaticalization*, Cambridge University Press, Cambridge.

Hudson, R. (1984), *Word Grammar*, Blackwell, Oxford.

Humboldt, W. von (1836), *Über die Verschiedenheit des menschlichen Sprachbaues*, Berlin.

Jackendoff, R. (1983), *Semantics and Cognition*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Katz, J. y Fodor, J. A. (1963), «The Structure of a Semantic Theory»: *Language* 39, 170-210.

Katz, J. y Postal, P. (1964), *An Integrated Theory of Linguistic Descriptions*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Kay, M. (1983), *Unification Grammar*, Xerox Research Center, Palo Alto.

Kuhn, T. S. (1962), *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.

Labov, W. (1972), *Sociolinguistic Patterns*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
Lakoff, G. (1987), *Women, Fire and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*, University of Chicago, Chicago.
Lakoff, G. y Ross, J. R. (1967), «Is Deep Structure Necessary?» en McCawley (ed.) (1976), *Syntax and Semantics*, vol. 7, Academic Press, New York, 159-164.
Lancelot C. *et al.* (1660), *Grammaire générale et raisonnée*, manuscrito, Paris.
Langacker, R. (1987), *Foundations on Cognitive Grammar: Theoretical Prerequisites*, vol. I, Stanford University Press, Stanford.
Langacker, R. (1991), *Foundations on Cognitive Grammar: Descriptive Application*, vol. II, Stanford University Press, Stanford.
Li, Ch. (ed.) (1975), *Word Order and World Order Change*, University of Texas Press, Austin.
Li, Ch. (ed.) (1976), *Subject and Topic*, Academic Press, New York.
Li, Ch. (ed.) (1977), *Mechanisms of Syntactic Change*, University of Texas Press, Austin.
Malinoswski, B. (1923), «The problem of meaning in primitive languages», en C. K. Odgen e I. A. Richards, *The meaning of Meaning*, Kegan Paul, Trench, Trubner, London, 451-511.
Du Marsais, C. Ch. (1729), *Les véritables principes de la grammaire* (manuscrito citado por Chomsky [1965]).
Martín Arista, J. (ed.) (1999), *Estudios de Gramática Funcional,* Mira, Zaragoza.
Mathesius, V. (1911), «On the potentiality of the phenomena of language», en J. Vachek (ed.) (1964), *A Prague School Reader in Linguistics*, Indiana University Press, Bloomington, 1-32.
Montague, R. (1974), *Formal Philosophy*, Yale University Press, New Haven.
Newman, S. (1941), «Behavior patterns in linguistic structure: a case study», en L. Spier *et al.* (eds.), *Language, Culture and Personality*, Sapir Memorial, Menasha, 94-108.
Newmeyer, F. J. (1980), *Grammatical Theory in America. The First Quarter Century of Transformational Generative Grammar*, Academic Press, New York. [Trad. esp.: *El primer cuarto de siglo de la gramática generativo-transformacional*, Alianza, Madrid, 1982.]
Nuyts, J., Bolkestein, A. M. y Vet, C. (eds.) (1990), *Layers and Levels of Representation in Language Theory*, John Benjamins, Amsterdam.
Osgood, C. y Sebeok, T. (1954), *Psycholinguistics*, Indiana University Press, Bloomington.
Perlmutter, D. (1983), *Studies in Relational Grammar*, University of Chicago Press, Chicago.
Perlmutter, D. y Rose, C. (comps.) (1984), *Studies in Relational Grammar 2*, University of Chicago Press, Chicago.
Piera, C. (2002), «Maneras de pensar dentro y fuera de la lingüística», en N. Catalá, J. A. Díez Calzada y J. E. García-Albea (coords.), *El lenguaje y la mente humana*, Ariel, Barcelona, 49-75.

Pollard, C. y Sag, I. (1988), *An information-based approach to syntax and semantics*, vol. I: *Fundamentals*, CSLI, Stanford.
Pollard, C. y Sag, I. (1994), *Head-Driven Phrase Structure Grammar*, The University of Chicago Press, Chicago.
Rosch, E. (1973*a*), «Natural categories»: *Cognitive Phychology* 4, 328-350.
Rosch. E. (1973*b*), «On the internal structure of perceptual and semantic categories», en T. Moore (ed.), *Cognitive development and the Acquisition of Language*, Academic Press, New York.
Rosch, E. y Lloyd, B. B. (eds.) (1978), *Cognition and Categorization*, Erlbaum, Hillsdale.
Sapir, E. (1921), *Language*, Brace and World, Harcourt, New York.
Saussure, F. de (1916), *Cours de linguistique générale*, Payot, Lausanne-Paris.
Sells, P. (1985), *Teorías sintácticas actuales (GB, GPSG, LFG)*, Teide, Barcelona, 1989.
Shieber, S. M. (1986), *An Introduction to Unification-based Approaches to Grammar*, Stanford: CSLI. [Trad. esp.: *Introducción a los formalismos gramaticales de unificación*, Teide, Barcelona, 1989.]
Siewierska, A. (1991), *Functional Grammar*, Routledge, London.
Taylor, J. T. (1989), *Linguistic Categorization: Prototypes in Linguistic Theory*, Clarendon Press, Oxford.
Thomason, R. H. (ed.) (1974), *Formal Philosophy: Selected Papers of Richard Montague*, Yale University Press, New Haven.
Wasow, T. (1985), «Epílogo», en P. Sells, *Teorías sintácticas actuales (GB, GPSG, LFG)*, Teide, Barcelona, 1989, 187-199.
Wierzbicka, A. (1985), *Lexicography and conceptual analysis*, Karoma, Ann Arbor.

RETOS DE HOY A LA FILOSOFÍA DE LA HISTORIA

Alfredo López Austin

1. LOS OFICIOS

Hoy dialogo en la confluencia de la filosofía y la historia. Intervengo en la conversación virtual que sostienen filósofos e historiadores para construir gradual e ininterrumpidamente la filosofía de la historia. Soy un historiador; no un filósofo. Los historiadores —cada uno a su modo— hacemos filosofía. La tarea nos es indispensable para buscar el sentido del devenir humano; para precisar la naturaleza y acotar los límites de nuestra disciplina; para descubrir el significado de la «verdad histórica»; para formular los métodos; para evaluar la utilidad de nuestra profesión en un mundo cambiante. Sin estas reflexiones cotidianas, el trabajo del historiador es casi estéril. Pero, salvo meritorias excepciones, nuestro hacer filosófico no se equipara al de los filósofos: carece de precisión conceptual, de orden sistemático, de conocimiento preciso y global de las propuestas en juego, del manejo de la actualidad del debate... En suma, los historiadores debemos ser conscientes de que atendemos sólo uno de los aspectos constructivos de la filosofía de la historia, y que otros especialistas han de participar en el manejo de la abstracción con sus visiones más amplias y sus herramientas más afinadas. La labor total es compleja; inmerso cada sector en su propio ámbito, respondiendo cada uno a sus propias problemáticas, la colaboración se hace indispensable. El producto, ya acendrado como tesis, tendrá que regresar a la investigación historiográfica concreta para demostrar sus bondades. Y, sin embargo, no podemos aceptar que las tareas de historiadores y filósofos estén separadas; para la obtención de un resultado positivo la comunicación debe ser permanente, en un diálogo que amalgame los oficios complementarios.

Como historiador debo responder al tiempo: qué problemas se han acrecentado en los últimos años, cuáles son las exigencias de mi presente, en qué futuro espero incidir con mis reflexiones. Puedo enfrentarme al pasado y aun al presente con relativa frialdad; pero surge mi voluntariedad manifiesta ante el futuro. No soy imparcial ni lo pretendo. Mi función como historiador —mi obligación como actor social— es doble, y así percibo el papel del filósofo. Se replantea hoy el viejo problema de los fines de la filosofía y de la historia: no sólo comprender el mundo, sino participar en su transformación. Independientemente de la gran distancia temporal del objeto que muchos historiadores estudiamos, independientemente de las muy puntuales especialidades de los filósofos, la tarea compartida de dar cuenta del devenir humano nos carga de responsabilidades. Historiadores y filósofos no podemos ser neutrales por estar sumergidos en esta realidad y debemos modelar el mundo que se abre a nuestros descendientes. Nuestras profesiones incluyen un compromiso.

Es éste uno de los problemas nodales del oficio: la contaminación del observador al quedar incluido en el objeto de estudio. Empecemos por reconocerlo.

2. EL TIEMPO

Dialogo en la confluencia de corrientes históricas que chocan entre sí. Es mi tiempo. Me es difícil definirlo, sobre todo si limito la calificación a unas cuantas palabras. Puedo decir que en él culminan cinco siglos de universalización de la historia. Hoy terminan de fundirse en un solo devenir los destinos de todos los pueblos del mundo, y la fusión se produce con la rapidez que permiten los actuales medios de comunicación y con la violencia que exige la imposición de un nuevo orden económico. La reducción constriñe a millones de seres humanos y un factor antes desconocido se cierne sobre el planeta: la aceleración incontrolable de los procesos históricos.

Poco tiempo atrás los catastrofistas presagiaban la catástrofe. Hoy los propios responsables del actual curso de la historia reconocen los efectos que antes negaron. El dominio económico que en un tiempo predicaron benéfico ha producido los resultados que se encuentran a la vista: la miseria creciente, el hambre, la desigualdad, la expansión de terribles enfermedades, la destrucción del medio, los incipientes cataclismos naturales provocados por la industrialización desmesurada, los desequilibrios económicos que contagian en minutos las finanzas de las grandes capitales del mundo... Ya no puede ocultarse el daño. Todo proceso se acelera; todo efecto parece irreversible.

Mi tiempo se caracteriza por la brutalidad del terrorismo; por la mayor brutalidad de las guerras que truncan vidas inocentes; por la puerilidad que justifica las brutalidades; por la docilidad con que se aceptan las justificaciones pueriles. Sobre todos los argumentos que se esgrimen para respaldar la violenta imposición del nuevo orden mundial, sobresalen los dogmas repetidos hasta el cansancio: uno de ellos, que el curso actual de la historia es inevitable; otro, hermanado al anterior, que quedaron en el pasado los intentos teóricos del hombre por transformar el mundo; puntualmente, que las ideologías han muerto.

Como historiador, debo examinar estos dogmas y la insistencia con que voces de filósofos, políticos y difusores repiten la consigna. La reiteración despierta la desconfianza. ¿Por qué, para quiénes, para qué se pregona? Los argumentos parecen dirigidos a los inconformes potenciales. Se transparenta el intento de convencer a millones de seres humanos de que nada puede frenar la carrera de esta locomotora desbocada. Sin embargo, la insistencia también revela que los actuales conductores del mundo intuyen que el curso de la historia sí puede cambiarse, que la razón encauzada es capaz de erguirse como obstáculo a sus propósitos.

En mi tiempo se inicia una insurgencia mundial, caracterizada por la heterogeneidad de sus componentes y por el valor que otorga al movimiento en sí. Es, sin duda, meritoria; pero, por su naturaleza, corre el riesgo de perder eficacia. Las grandes empresas y los gobiernos que las apoyan poseen descomunales recursos para neutralizar los efectos de la protesta. Una siguiente etapa requiere una teoría política que vertebre la acción. Es indispensable que, más allá de la reivindicación de los derechos, exista la propuesta sistemática de otro orden mundial. Sin la teoría, la insurgencia puede convertirse en la expresión predecible de la inconformidad mundial; en un movimiento tal vez molesto para la gran empresa, pero insuficiente en el cumplimiento de sus ambiciosas metas.

El problema nodal es, precisamente, que buena parte de los integrantes del movimiento no aceptan como necesaria una teoría política conductora. Hay dos grandes obstáculos para su convencimiento. El primero, la conformación misma del movimiento, cuyos heterogéneos grupos están unidos sólo por su oposición al capitalismo exacerbado y por la posibilidad de articularse en la acción inmediata de protesta. El segundo, su rechazo tajante a la unificación del pensamiento, pues se la juzga opuesta al derecho a la diversidad cultural. La desconfianza a la unificación teórica —o a toda teoría en general— es la respuesta obvia al largo proceso de reducción forzada del pensamiento.

Mi posición ante el pasado y ante el presente se ha formado en el manejo de las categorías temporales. Ubicado en mi oficio, no me convence la idea de la única vía posible. Por el contrario, confío en el poder del pensamiento como forjador del destino humano. Elijo la ciencia como la vía principal para la depuración del pensamiento, y encuentro en el campo científico la tribuna más idónea, universal, para la intercomunicación de las propuestas del debate. Sigo concibiendo a la historia como la gran maestra de la vida. Considero que la filosofía de la historia tiene una participación considerable en la respuesta a las disyuntivas de nuestro tiempo. Surge, por tanto, la necesidad de formular algunas de las preguntas que hoy deben responder tanto la filosofía en general como la filosofía de la historia en aspectos más concretos.

Uno de los problemas principales es, en efecto, el de la unidad o la diversidad de las culturas en el contexto de la globalización mundial, como se ha planteado desde la filosofía[1]. El capitalismo imperante descubre en la diversidad de la cultura un factor negativo a sus propósitos y pretende unificar masivamente a la población mundial bajo el modelo de un individuo celular, aislado, inmerso en una cotidianidad ajena a toda tradición y a todo proyecto colectivo. Pretende sustituir la particularidad de las culturas y la memoria histórica por una cultura ligera, superficial, suficiente para que productores y consumidores hablen la misma lengua y piensen en sintonía. La penetración del nuevo orden mundial en todas las economías mundiales requiere la formación de un gran poder militar hegemónico, una suprema voluntad política y una forma generalizada de concebir el mundo.

Ante la imposición se hace indispensable la defensa de la diversidad cultural; pero esto plantea de inmediato otra cuestión: si no existe una visión hegemónica de la historia, si cada cultura posee su propia «verdad histórica», ¿cómo puede proponerse un espacio de diálogo que compagine las visiones que se han forjado las distintas sociedades acerca de la trayectoria del ser humano en el planeta? Quienes defienden la posibilidad de un futuro diálogo plural insisten en su fundamento ético. La filosofía de la historia tiene hoy entre sus tareas la solución articulada de los problemas que plantean la diversidad cultural, la verdad histórica y la ética global.

1. Véase, por ejemplo, L. Olivé, *Multiculturalismo y pluralismo*, Paidós-Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1999.

3. EL ESPACIO

Dialogo en la confluencia de culturas. La coexistencia de diferentes concepciones del mundo determina el carácter de mi espacio porque en mi espacio las relaciones son tensas; se hacen ríspidas; en ocasiones estallan. Hace cinco siglos se trasplantó a estas tierras la universalización de la historia. Pertenezco al enorme territorio colonizado de un continente. Esta posición permite ver realidades que en otras partes del planeta permanecen ocultas. Los países que durante siglos sufrieron un régimen colonial quedaron marcados por el estigma. La colonia impone a los vencidos su propia visión del mundo; pero lo hace en forma tasada, restringida, en la medida en que la imposición y sus limitaciones son instrumentos de dominio. Las limitaciones garantizan la supremacía del «donante». La colonia segmenta la sociedad como si la organizara en compartimentos estancos. Entre los segmentos se mantiene una comunicación imperfecta. La comunicación consolida las jerarquías; su imperfección crea desconocimientos y desprecios recíprocos. Cuando desaparece la colonia político-económica, permanecen en los países dominados muchos lastres de la vida colonial. Entre los más duros se cuenta la segmentación que niega al *otro* la legitimidad de su diferencia.

Hablo desde México, una parte del enorme territorio mundial colonizado. La impronta colonial es profunda y la vieja mentalidad de la colonia evoluciona para mantener jerarquías de nuevo cuño. La negación de la diversidad cultural ofrece aquí sus aspectos más descarnados. A ello se debe que nos sea familiar la universalización de la historia que hoy alcanza su apogeo y cubre la superficie del planeta. Nos ha sido familiar durante siglos. Aquí es posible evaluar la magnitud del problema actual de la hegemonía globalizada tanto por lo que se refiere a la negación de la diversidad de la cultura como por lo que toca a un destino en que se niega al hombre común el derecho de defender culturalmente su propio territorio.

Aquí la catástrofe pierde sus tintes de amenaza; deja de ser abstracción para concretarse en seres humanos, en recursos vitales, en instituciones. Se ha convertido en estadística. El régimen colonial dejó un paisaje saqueado, empobrecido; pero ése fue simplemente el inicio. Hoy la devastación se acelera por la explotación irracional que determina el libre mercado. La tierra ha de responder a la oscilación de los precios, satisfaciendo simultáneamente los afanes de lucro y las necesidades vitales de una población empobrecida. Sobre el llamado tercer mundo ya no hay tiempo para racionalizar la explotación de la tierra, para conservar las fuentes de recursos. No se encuentran aquí

los centros neurálgicos de las grandes empresas. Los medios agotados se sustituirán —tan pronto como sea conveniente para el capital— por otros que ofrezcan mayores posibilidades, tal vez a miles de kilómetros de distancia, porque la velocidad de las comunicaciones permite hoy que el capital se traslade en segundos, dejando tras sí vidas truncadas y territorios devastados. El mercado marcha, corre, aplastando el futuro. La destrucción se proyecta sobre las generaciones ya gestadas.

En México, en esta parte del enorme territorio conquistado, pueden evaluarse los efectos del ataque brutal a las culturas vencidas; del intento —imperante hasta nuestros días— de reducir la diversidad a una supuesta cultura nacional. Millones de mexicanos de culturas marginadas, indígenas, viven como extraños en la tierra de sus remotos antepasados. Se cuentan entre los mexicanos pobres. En México se puede comprender lo que significa la pobreza en sus niveles extremos de carencias, en la falta de oportunidades de superación, en el alto porcentaje poblacional de los pobres, en su incremento progresivo, en la ceguera, indiferencia e incompetencia gubernamental frente al problema, y en el contraste entre menesterosos y pudientes.

En México hay pobres, y hay pobres que además son indios. La pobreza de millones de indios va acompañada de discriminación racial y cultural, inconcebible en un país poblado por una mayoría mestiza y beneficiado por una rica herencia cultural indígena. Pese a la discriminación, los indios han preservado sus raíces; han adaptado su identidad a las condiciones adversas de la vida colonial durante cinco siglos. Hoy los pueblos indios reclaman la oportunidad para construir una vida autónoma, digna y de bienestar a partir de sus propias concepciones del mundo. Hasta ahora la oportunidad les ha sido negada, pues exigen una defensa de su ámbito natural que va en contra de los intereses de apropiación de la libre empresa.

El problema del indígena mexicano, tan particular a primera vista, aumenta considerablemente cuando se transforma de caso en ejemplo. Sordamente, la imposición cultural generada siglos atrás empieza a volcarse sobre todo el planeta. Sus daños se han menospreciado. Se llega a considerar, incluso, que la cultura simple puede constituir una capa superficial —inocua, adicional, meramente mercantil— de las culturas tradicionales, o, más allá, que puede sustituir a éstas sin trastornar la existencia social. Lo grave es que el sentido de la vida humana sólo se arraiga en construcciones tradicionales que se han ido erigiendo durante milenios.

Bajo este presupuesto, volvamos al ejemplo del indio mexicano. ¿Por qué, en una época de globalización, los pueblos indígenas centran

sus esperanzas de existencia digna en la conservación de sus tradiciones? ¿No les sería más fácil disolverse en el medio cultural hegemónico, tal como lo han propuesto, durante siglos, los diversos regímenes gubernamentales? ¿Por qué se niegan a abandonar una concepción del mundo que muchos califican como poco práctica en nuestro presente?

Recorramos, al menos brevemente, la historia de la formación de una cultura.

4. LA FORMACIÓN DE UNA VISIÓN DEL MUNDO

Dialogo en la confluencia de la historia y la antropología, en los imprecisos límites de las dos corrientes. Mi trabajo es la investigación de la vida de las antiguas sociedades indígenas que ocuparon la superárea cultural hoy denominada Mesoamérica. Con frecuencia debo buscar en el pensamiento indígena de los últimos cien años algunas claves que me permiten interpretaciones importantes del remoto pasado.

Los límites entre la historia y la antropología son imprecisos aun tomando como base las ya superadas definiciones de la antropología como estudio del *otro*. Al menos en México, esta distinción ha sido injustificable. ¿A quién puede señalarse como *otro* en un país que al mismo tiempo es mestizo y mosaico de culturas? Hoy son aún más imprecisos los límites entre historia y antropología, cuando la historia abarca el estudio de la vida social cotidiana, y cuando la investigación antropológica adquiere su sentido más pleno en la perspectiva de las transformaciones sociales. Son más imprecisos hoy, cuando el concepto braudeliano de la larguísima tradición sirve para comprender una realidad actual a partir del conocimiento del pasado, y viceversa, sin negar con ello el valor de las grandes transformaciones.

Los conflictos sociales de fuerte contenido cultural han sido recurrentes en México. La última rebelión indígena se inició al empezar el año de 1994 y aún no ha concluido. Los rebeldes han sumado a su miseria las penas de estos años de lucha, pero mantienen su movimiento frente a los gobiernos renovadamente neoliberales. Defienden su cultura, el reconocimiento de su calidad de pueblos, la autonomía de sus territorios y un trato digno. Desde este México de mentalidad colonial no ha faltado quien se pregunte si se justifica el sufrimiento indígena por conservar formas de vida pertenecientes al pasado, si es lógico que los indios se nieguen a los beneficios de la ya presente globalización del mundo. Ante estos cuestionamientos es necesario puntualizar. Los rebeldes no pertenecen al pasado. Viven plenamente la globalización neoliberal del mundo, ocupando los lugares donde los

efectos del neoliberalismo son más brutales. El presente pretende arrebatarles el derecho a la identidad. Sus tradiciones son de hoy y de su futuro, porque las tradiciones no son meros conjuntos de expresiones culturales, cristalizadas y uniformes, que se transmiten de generación en generación, sino acervos dinámicos que se comparten y modifican socialmente para responder intelectualmente a las fluctuantes situaciones de la vida. Con la tradición se proyecta el destino. Los indígenas defienden sus culturas para protegerse, desarrollarse y velar por el futuro de sus descendientes en un mundo que hoy se caracteriza por la mercantilización extrema, la migración laboral, el arribo de modernas tecnologías, la evangelización de diferentes denominaciones y la invasión de proyectos gubernamentales que persiguen la explotación de sus territorios. Los indígenas pretenden desarrollar sus potencialidades a partir de una existencia que ha sido disminuida por la vida colonial.

¿Por qué se cuentan los pueblos chiapanecos entre los que hoy, en el mundo, defienden más vivamente su cultura? Porque su posición de agredidos acrecienta su conciencia y los hace encabezar las protestas en contra de la cultura impulsada por el neoliberalismo. ¿Por qué se oponen a los beneficios de esta nueva cultura ligera que se generaliza en el mundo? Aparentemente no existe justificación, pues se parte de la idea de que toda interrelación cultural resulta enriquecedora. Además —se afirma—, la cultura ligera se integra en torno a bienes asequibles como mercancía, productos de fácil uso, muchos de ellos baratos, atractivos, prestigiosos, ubicuos y uniformes; son productos para cuya elección y consumo no es necesario un saber tradicional. Pero bajo estos rasgos aparentemente positivos se oculta una trampa. La cultura ligera es dominante; banaliza el mundo y mina las culturas que se han ido formando durante milenios como cuerpos de pensamiento profundo. La cultura ligera es excluyente; desmonta pieza por pieza las añosas construcciones. Su acción es irreversible. Destruye el entorno biodiverso indispensable para la delicada articulación de las tradiciones. El hombre inmerso en la cultura ligera se empequeñece. Es universalizado por la vía de la reducción y la homogeneización. Disminuye su calidad de individuo social, cargado de deberes y atribuciones, para redefinirse bajo una idea de individualidad que casi coincide con su esfera biológica. Es el hombre minimizado, atomizado. Con su quebranto se le disuelve el sentido de la vida y se le sustituyen muchos de sus más caros anhelos comunitarios por el afán aislante de la compra y el consumo de mercancías. Más aún, su situación personal (su capacidad de producción, su posición social, su valor moral) se inestabiliza, pues adquiere la calidad de una mercancía in-

mersa en los altibajos del mercado. La mayor ganancia de la empresa mantiene en riesgo constante su dignidad de ser productivo.

La acción aniquilante de la cultura ligera pasa casi inadvertida en las sociedades urbanas; pero los pueblos indígenas perciben pronto sus efectos. Las estructuras tradicionales, más lábiles por las condiciones de pobreza y marginación, se resienten de inmediato ante los desequilibrios provocados por un cambio dirigido desde fuera y no controlado por las comunidades. Los antiguos creadores de cultura se convierten en consumidores dependientes de lo que no están capacitados para producir. Las mejores oportunidades que les ofrece el mundo globalizado son su conversión en mano de obra barata, trabajadores migrantes, obreros sin calificación en empresas maquiladoras. Se les exige que funcionen como individuos atomizados.

¿Qué se defiende con una cultura compleja? El sentido de la vida y el de la historia descansan en la fuerte interrelación de los componentes de las culturas complejas. Durante milenios se han enlazado simbólicamente las experiencias de las sociedades humanas con su ambiente, con la interrelación cotidiana, con la historia, hasta formar una densa red de significaciones. La tradición es el cristal propio para percibir el mundo y el instrumento idóneo para convertirlo en hogar y fuente de recursos. Los indígenas chiapanecos, como muchos otros indígenas de México, defienden una tradición presente que nació hace 7.000 años con el cultivo del maíz, triunfo que transformó lentamente la existencia de los nómadas hasta dar origen, hace 4.500 años, a las primeras sociedades agrícolas mesoamericanas. Mesoamérica recibió fuertes influencias del exterior: del área andina, del territorio chibcha, de las áridas regiones septentrionales; pero su origen fue continental, en un mundo que hasta el siglo XVI se mantuvo libre de transformaciones llegadas del exterior. Esta insularidad, este desarrollo autónomo de milenios, permite observar la paulatina formación de una visión del mundo común a diferentes tradiciones que vivieron una larga historia compartida. En la vasta geografía mesoamericana —del semidesierto a la selva tropical, de las costas marinas a los altos valles rodeados por montañas nevadas— florecieron sociedades de hombres de muy distintas lenguas y etnias —olmecas, zapotecos, teotihuacanos, mayas, huastecos, toltecas, otomíes, mixtecos, aztecas, totonacos, tarascos, muchísimos más— unidas por las bases de una misma cosmovisión.

La gran tradición occidental ha centrado su atención en los héroes culturales, enalteciendo al individuo que transforma con su genio el curso de la historia. En la historia mesoamericana —tal vez por falta de puntualidad biográfica— se percibe con mayor intensidad la crea-

ción cultural impersonal, diseminada. Es cuestión de enfoques, y la diferencia de enfoques puede ser saludable en el estudio comparado de la historia. Demos peso por un momento al hombre común que en cualquier tiempo y en cualquier rincón del mundo vive su historia cotidiana. Imaginemos al creador de la cultura compleja como a un ser anónimo que entreteje la red simbólica sobre la cual podrán bordar los individuos excepcionales. El hombre común, al enfrentarse a su entorno y al actuar reflexivamente en él, eleva sus prácticas cotidianas al nivel de una abstracción que le permitirá aprovechar su experiencia en situaciones similares. Simultáneamente, como ser social, comunica a sus semejantes sus observaciones, prácticas y deducciones. Se produce a partir de ello un entramado de congruencias que da sentido a representaciones, clasificaciones, normas y pretendidas leyes universales. La analogía logra la gran síntesis del pensamiento. Innumerables cruces de experiencias, asimiladas en todos los ámbitos de la acción humana, acendran racionalmente las concepciones, nacidas ya en la razón de la práctica y transmitidas en la vía racional de la expresión. Así se construye un cuerpo de saberes que culmina en principios universales. Éstos, derivados de la vida concreta, revierten por múltiples vías como una guía para la acción cotidiana.

En la historia mesoamericana es posible seguir los pasos de formación de una visión del mundo. Fue éste un edificio nunca concluido, siempre en construcción, que se adaptó paulatinamente a los cambios de la historia. El flujo y reflujo constante y omnipresente originó una visión del mundo de carácter holístico. Todo lo explicaba, todo lo guiaba, y partía para ello de un orden taxonómico global, basado —como en muchas otras regiones del mundo— en una división dual de dos principios opuestos y complementarios. La construcción fue obra común de infinidad de creadores, como lo es la de las lenguas del mundo. Los autores de la cosmovisión eran cotidianamente todos sus usuarios, quienes, sin pretenderlo y sin percibirlo, resolviendo otros problemas y cumpliendo otros fines, levantaron un imponente monumento racional. Existía una trabazón a pesar de que los códigos del entramado jamás se formularon, a pesar de que no fue necesario explicitar los paradigmas. La cúspide del edificio racional no necesitó ser verbalizada ni explicitada. De hecho, sus más sintéticas formas de expresión fueron metafóricas, presentes en los relatos míticos, en los pasos rituales, en la armonía geométrica de las artes visuales. Eran formas de expresión que reforzaban, en un nivel inconsciente, la lógica del pensar y actuar de los miembros de las comunidades.

En un edificio racional de estas características ¿quién es capaz de manejar la totalidad de la cosmovisión? Nadie. Y, sin embargo, las pie-

zas se ajustan hasta reunir todas las partes del edificio. Esto es común en todo el mundo. El usuario-creador, inmerso en la complejidad de su cultura, tiene pocas posibilidades de percatarse de los grandes principios nomológicos y de las grandes bases estructurantes de su propia cosmovisión. Las hojas no le dejan contemplar el bosque. Y, sin embargo, el usuario-creador se beneficia cotidianamente de la gran estructura.

¿La unidad de cosmovisión significa la uniformidad de pensamiento en todos los usuarios? No, porque la cosmovisión permite que en su seno se construyan visiones particulares diferentes, incluso opuestas, con lo cual la cosmovisión se convierte en palestra. Gracias a su congruencia general, una visión del mundo permite los diálogos enfrentados. Reglamenta la contienda; da los códigos para la interlocución en la disputa.

La cosmovisión se eleva sobre todas las conciencias de sus miembros, incluye la posibilidad de divergencias y subsume las particularidades cognitivas sin anular las diferencias. ¿Cómo mantiene la unidad? Con el distinto ritmo de transformación de sus contenidos. Un núcleo duro, constituido por los principios básicos, estructurantes, no inmune al paso del tiempo, pero sí muy resistente a la transformación, otorga sentido a todos los componentes del pensamiento social, incluyendo los periféricos. Este núcleo permite asimilar los elementos culturales que se suman a la tradición y orienta en la solución de problemas nunca antes enfrentados. Hacia la periferia, compuesta gradualmente por los componentes más lábiles al cambio, se forma el cuerpo que atenúa los impactos de la transformación histórica. En resumen, la cosmovisión está integrada por elementos muy antiguos y muy recientes, importantes y superficiales, resistentes y efímeros, pero todos vinculados por la estructura del núcleo duro, por el orden de la gran congruencia, por el gran sentido existencial.

Hoy los descendientes de los mesoamericanos poseen cosmovisiones que se originaron en el antiguo pensamiento. Son ya cosmovisiones diferentes; pero mantienen los vínculos de flujo y reflujo entre el pensamiento abstracto, nodal, y la vida concreta de sus usuarios-creadores. Por ello las cosmovisiones dan sentido a la existencia de sus usuarios, y por ello son defendidas con denuedo. Pero, entendamos, la lucha no es por la persistencia de las culturas como entidades cristalizadas. Se defiende el derecho a transformarse por voluntad propia, en forma armónica dentro de las propias tradiciones, persiguiendo el beneficio de las comunidades de usuarios-creadores y teniendo como marco los principios de la justicia y la dignidad.

5. LAS FUNCIONES Y EL SENTIDO DE LA HISTORIA

Dialogo en la confluencia de dos significados de la palabra *historia*: uno se refiere al conjunto de procesos que inciden en las sociedades; el otro, a la percepción y registro de dichos procesos. El primero atiende al devenir social; el segundo, a la concepción del devenir y a la historiografía como producción de la memoria social. El tema del doble significado ha sido tradicionalmente grato a los teóricos. Hoy, la oposición entre la unidad y la diversidad cultural revitaliza el debate. En el campo de la filosofía de la historia se traduce en la oposición entre la particularidad de las concepciones de la historia y la objetividad necesaria para la percepción neutral de los procesos sociales. Para el análisis de esta disyuntiva será necesario enfocar, en primer término, la naturaleza de la historiografía y, para ello, su carácter social como actividad humana cargada de funciones.

El trabajo del hombre es pragmático. Las funciones de sus obras pueden ser expresas o tácitas, admitidas o negadas, directas o indirectas, claras o difusas, inmediatas o distantes, pero siempre dan cuenta de la utilidad de la acción y, a partir de ella, de algunas características fundamentales de las obras. Tanto las funciones como su orden de prioridad varían históricamente. Sin embargo, en el caso del registro histórico hay funciones que se antojan permanentes. No sólo esto, sino que su peso parece colocar el registro de la historia entre las actividades intelectuales imprescindibles a la sociedad.

Destaco cuatro de estas funciones, las que hacen que la historia sea concebida como: *a*) instrumento para mantener el orden social; *b*) justificante de instituciones; *c*) motor político; y *d*) maestra de la vida.

Desde tiempos remotos, la historia ha remitido el origen de la comunidad y de la normatividad colectiva a la voluntad de los dioses, a la costumbre sancionada por las generaciones o a una convención prístina. En modalidades primitivas, las comunidades, ante una vacilación colectiva, un conflicto entre sus miembros o una transgresión grave, contaron con el registro histórico expresado en el canto, el poema, el mito o el relato canónico de acontecimientos comunitarios. El registro fue la consagración del saber colectivo, y en él se buscaba la solución del caso. Su fuerza era suficiente para precisar derechos, obligaciones e identidades. La vía certificadora cristalizó como historia en sentido estricto. En la memoria formalizada de los sucesos fundantes o explicativos se apoyaron la legalidad, la moralidad, la jerarquía, la institucionalidad, la pertenencia y el rito. Ante la pluralidad y la disconformidad de las versiones históricas nació la necesidad probatoria de los hechos narrados. Se los sometió entonces a la concor-

dancia con los cánones sagrados, la lógica causal, la autoridad de los sabios, los registros paralelos y el testimonio, todo esto con la elaboración de los métodos destinados a mantener la verosimilitud de los relatos legitimantes. Estos relatos debieron de acendrarse considerablemente cuando dos o más comunidades enfrentaron sus propios argumentos históricos como defensa pacífica de sus respectivos derechos. La falsedad histórica expuso a la derrota en el debate y, con éste, a la consecuente pérdida de los derechos. La historia nunca ha abandonado su función original de instrumento argumental.

En su segunda función la historia define, justifica y consolida las entidades sociales. Rómulo y Remo, los fundadores; Noé, el padre de la distinción racial; Fu Xi, el sublime emperador inventor del pastoreo y el matrimonio; Manco Cápac, Mama Ocllo y Ninigi-no-mikoto, creadores de gobiernos y dinastías, son arquetipos institucionales. Si bien su proximidad a la sobrenaturaleza los hace eslabones entre el mito y la historia, sus hazañas son modelos para la exaltación de personajes y sucesos ya plenamente históricos que, como ellos, seguirán fijando y definiendo la institucionalidad. Para bien o para mal, la historia justifica las divisiones raciales y las jerarquías sociales; solidifica derechos y obligaciones; fija límites territoriales; hace aflorar —o inventa— características identitarias y establece intereses y metas nacionales.

A partir de las funciones anteriores, la historia se manifiesta como motor político. Con su discurso, el emisor pretende transformar la voluntad del receptor e inducirlo a la acción. La naturaleza canónica del relato impulsa y dirige a la colectividad, sustentando un sentido histórico sacralizado. No en vano numerosas contiendas por la verdad histórica se dan en el campo de las confrontaciones políticas.

Una cuarta función de la historia es la didáctica. Más allá del sabor retórico del calificativo *maestra de la vida*, su naturaleza así la justifica. Para admitir esta función no es necesario defender el carácter repetible de los procesos sociales ni la capacidad de la historia para descubrir leyes universales y predecir con base en ellas. El argumento puede ser más sólido. Toda realidad presente es el resultado de un conjunto de procesos, y toda prospección histórica es la proyección intelectual de un curso de acontecimientos. Braudel nos permite imaginarnos conformados por un cúmulo de corrientes que marcan distintos ritmos de transformación. Nuestra realidad es movimiento y combinamos en el presente cursos originados en muy distintas esferas del pasado. Estos cursos tienen variadas masas, corren a diferentes velocidades y son impulsados por particulares aceleraciones. La interpretación histórica es el estudio de los procesos en marcha: tiene mucho de radiografía del presente y nos permite ver en movimiento el

juego de nuestros componentes antiguos y recientes; nos permite evaluar el juego hasta el presente... y más allá.

Las cuatro funciones mencionadas permiten algunas reflexiones en torno a la naturaleza del registro histórico. *Grosso modo*, podemos calificarla como una construcción de significantes con que se pretende aprehender una realidad social producida por la articulación de múltiples procesos. La construcción está afectada por una fuerte intencionalidad; es legitimadora y estructurante; posee una considerable potencialidad política, y su validez y eficacia dependen de la legitimidad que le otorgan tanto un respaldo social como un método crítico. Como creadora de significados, la historia-registro está condicionada por la particularidad de la cultura. Más aún, gran parte de su estructura y orientación general derivan del *sentido de la historia*, interpretación de los sucesos que varía de cultura en cultura. El *sentido de la historia* condiciona la selección de los hechos significantes; marca la lógica del relato; sanciona los sucesos históricos e impulsa la orientación de contenido político. Sus bases son supuestos valores colectivos —algunos llegan a atribuirse a la naturaleza humana— y un supuesto destino que se asigna ya a la colectividad, ya a la humanidad entera.

Es aquí, precisamente, donde surge uno de los grandes problemas de la filosofía de la historia. Parecen enfrentarse, por una parte, la historia vinculada estrechamente a la cultura que le da vida, sujeta, por tanto, a la relatividad de su pertenencia en un contexto de diversidades; por otra, una historia fundada en la objetividad, neutral, trascendente a la diversidad cultural, la única que puede reclamar su calidad científica. Sin embargo, la disyuntiva no se resuelve con la simple elección de una de las ramas. La historia particularizada por su cultura de origen no puede existir sin la validación de la *objetividad histórica*, pues la falta de rigor en la construcción del modelo explicativo le restaría toda veracidad y legitimidad. La historia rígidamente objetiva, por su parte, perdería sus funciones tradicionales y el *sentido de la historia* —los *sentidos de la historia*— que sólo alcanza con la ubicación en una particularidad determinada. Se convertiría, como actividad intelectual, en un ejercicio vacío. La gran contradicción es que, al parecer, el registro histórico no puede escindirse en actividades separadas, una objetiva, tendente a —o inserta en— la cientificidad, y otra relativa, particularista, que cumple con los fines sociales de la historia.

6. LA OBJETIVIDAD DE LA HISTORIA

Dialogo en la confluencia de dos rostros de la historiografía: la objetividad histórica y la relatividad producida por la diversidad cultural.

El meollo del problema es que tanto la concepción del devenir social —intrínsecamente ligado al *sentido de la historia*— como el cumplimiento de las funciones de la memoria histórica exigen la coexistencia de objetividad y particularismo. Esto hace necesario el planteamiento de una posible solución a la antítesis.

La *objetividad histórica* está íntimamente ligada a la idea de *causalidad histórica*, imprescindible en el ejercicio historiográfico, como lo señalara Bloch:

> En vano el positivismo pretendió eliminar de la ciencia la idea de causa. A querer o no, todo físico, todo biólogo piensa por medio de preguntas y respuestas. Los historiadores no podrían escapar a esta ley común del pensamiento [...] Si la metafísica de la causalidad está aquí fuera de nuestro horizonte, el empleo de la relación causal, como herramienta del conocimiento histórico, indiscutiblemente exige una toma de conciencia crítica[2].

Pese a la multiplicidad de factores —tanto de índole social como natural— que se conjugan en la transformación de los hechos sociales, una aproximada medición de las causas y los efectos permite entender el desarrollo de los acontecimientos y prever su curso futuro. Hay, por tanto, una base lógica, objetiva, que limita la subjetividad interpretativa.

Con la objetividad entramos, al menos tangencialmente, en el tema de la cientificidad de la historia. Su inclusión en la ciencia —para unos— o su aproximación —para otros— ofrece indiscutibles ventajas a la legitimidad, cualidad imprescindible para el cumplimiento de sus funciones. El nicho científico dignifica a la historia. La ciencia es una actividad multicultural, provista de las más depuradas y eficaces posibilidades de comunicación, entre las cuales destaca una traducibilidad desarrollada. La comunidad académica, si bien no es numerosa, es privilegiada en cuanto a su capacidad de recepción, discusión y difusión de la materia científica. El discurso académico es prestigioso. El ejercicio científico exige claridad lingüística y precisión conceptual. Los niveles de abstracción científica permiten que la circulación de las ideas sea rápida y fácil. Los límites temáticos, las reglas de presentación de los problemas y la normatividad del debate están fijados en la ciencia como en ninguna otra actividad humana. Su materia, cernida por la discusión generalizada y la crítica metódica, es confiable, debido a —y a pesar de— que la cientificidad misma mantiene

2. M. Bloch, *Apología para la historia o el oficio de historiador*, Fondo de Cultura Económica, México, 2001, p. 174.

permanente el factor de la duda. Con sus mecanismos de depuración se pretende eliminar el particularismo cultural, los contenidos ideológicos, las presiones del pragmatismo y todo aquello que empaña la calidad científica de la materia, hasta convertir ésta en un producto neutro. La ciencia posee un desarrollado aparato de análisis crítico, cuya aceptación y uso son convenidos o aceptados universalmente. Su acervo global está sistematizado y es relativamente asequible a toda la comunidad científica.

La cientificidad de la historia legitima su discurso; pero es necesario señalar que tiene limitaciones. La abstracción del objeto, libre de determinaciones ajenas a la ciencia, lo reduce cualitativa y cuantitativamente; lo empobrece. La ciencia, en su aspecto general, no abarca todo dominio humano. La cobertura de la ciencia se ha ido extendiendo lentamente de unos ámbitos naturales y sociales a otros; pero se está muy lejos aún del ideal cientificista de comprenderlo todo. Así, quedan fuera de la aprehensión de la ciencia las pasiones, las emociones estéticas, las experiencias místicas y otros muchos aspectos que son fundamentales en la vida humana como factores de los procesos sociales, ya como vías de saber, ya como guías para la acción. Más allá, estos aspectos de la vida social varían profundamente en la diversidad de las culturas, por lo cual el particularismo es indispensable para su evaluación.

En cuanto a la ciencia en general, es necesario admitir que se le ha creado una imagen de neutralidad que dista de ser real. Numerosos conceptos, clasificaciones, orientaciones, finalidades e intereses científicos no han sido suficientemente depurados de particularismos culturales. Esto, necesariamente, es más grave y perceptible en el campo de las ciencias sociales. La neutralidad científica es perfectible; la absoluta neutralidad es una ilusión.

Hay un problema de la objetividad que puede asociarse a una muy conocida proposición que hiciera Cassirer en 1944. El filósofo alemán se funda, a su vez, en los trabajos del biólogo Johannes von Uexküll, quien había negado la existencia de una misma realidad para todos los seres vivientes, puesto que la realidad no es una cosa única y homogénea, sino inmensamente diversificada, por poseer tantos esquemas y patrones diferentes cuantos diferentes organismos hay. Según Uexküll, cada organismo es un ser monádico que posee un mundo propio en cuanto posee una experiencia peculiar. Cassirer complementa esta idea al concebir al ser humano como un *animal simbólico*, prisionero del *universo simbólico* que él mismo ha creado, por lo cual «no puede enfrentarse con la realidad de un modo inmediato; no puede verla, como si dijéramos, cara a cara. La realidad fí-

sica parece retroceder en la misma proporción que avanza su actividad simbólica»[3].

Las proposiciones de Uexküll y Cassirer nos alejan, de entrada, de la concepción de objetividad absoluta. La realidad se forma a partir de la relación entre un mundo exterior y un aparato mental común a la especie. El aparato mental reacciona sensitivamente y organiza la información recibida en el nivel de semejanza que permite la similitud fisiológica de los individuos. En una primera instancia, poseemos una realidad común por ser miembros de la especie. Pero a medida que nuestro pensamiento se enriquece, afectado por diversos factores que no derivan de nuestra herencia biológica común, condicionamos profundamente la percepción y modificamos los mecanismos de organización del pensamiento, con lo cual se particularizan nuestras operaciones cognitivas.

Esto motiva que en diferentes ámbitos humanos forjemos realidades diferentes. Si, por lo general, no lo tomamos en cuenta, es porque estamos firmemente convencidos de que nuestra percepción de un mundo objetivo no está mediada por condicionamiento alguno, ni específico ni adquirido. Creemos enfrentarnos directamente a una realidad exterior. Suponemos que la nuestra es *la percepción*, o al menos una percepción no condicionada ni distorsionada.

El ser humano, por tanto, comparte fisiológicamente la relatividad perceptiva con el resto de las especies. La suya es la adaptación de un aparato específico que proporciona una información y permite un procesamiento, ambos determinados por la naturaleza misma del mencionado aparato. Más aún, su particularidad se fracciona nuevamente debido a las peculiaridades culturales. Tanto las particularidades fisiológicas de la especie como las derivadas de la diversidad cultural relativizan la objetividad de la ciencia.

Sin embargo, es muy conveniente considerar que la particularidad no es total y que existen grados de aproximación entre las modalidades cognitivas. Aun admitiendo la enorme distancia que existe entre los seres humanos y el resto de los mamíferos superiores, es indudable que la semejanza de los aparatos de relación permite una cierta similitud no sólo en las sensaciones, sino en las respuestas y —es de suponerse— en buena parte de los procesos neurobiológicos. Algo hay en común y, además, la semejanza es gradual. Hay mayor o menor proximidad en los procesos cognitivos de las especies según sea el tipo de necesidades vitales a que las funciones de relación correspon-

3. E. Cassirer, *Antropología filosófica*, Fondo de Cultura Económica, México, 1963, pp. 45-49.

dan, y según sea la distancia que las especies guardan entre sí en el árbol filogenético.

En el aspecto cultural se produce una gradualidad semejante. La diversidad no da origen a compartimentos estancos. Entre las distintas tradiciones existen elementos comunes que hacen posible la comunicación, y éstos son mayores tanto cuando responden a necesidades fundamentales biológicas o sociales como cuando existe mayor similitud en la complejidad social o mayor parentesco cultural.

El tema de la gradualidad de la objetividad histórica constituye un gran reto para la filosofía de la historia. El esfuerzo destinado a su estudio es redituable, ya que a partir de la gradualidad es posible obviar los escollos tanto de la supuesta objetividad absoluta como del fácil relativismo. Tomando en cuenta los niveles producidos por los elementos comunes de las diversas culturas, es posible formar una estructura que tenga en su cúspide el estrato más próximo a la neutralidad científica, mientras que en su amplia base permita la particularización muy plural de las verdades históricas. Esto permite la jerarquización de las verdades en cuanto a la amplitud de su radio de validez. En los distintos niveles, el debate y el discurso históricos precisarían el ámbito de su verdad, los parámetros de su diálogo y la normatividad de su argumentación. Si se fijan nítidamente las reglas del juego aplicables a la discusión histórica y a la producción historiográfica en cada uno de los niveles, puede garantizarse un ejercicio crítico y riguroso que legitime la verdad relativa alcanzable.

Pongamos como ejemplo una investigación en el campo de la historia de las religiones. Imaginemos en la cúspide de la objetividad el análisis de un conjunto de hechos históricos desprovistos de calificación sobrenatural, un techo laico que, sin afirmar ni negar la sobrenaturaleza, incluya principios y valores comunes a creyentes y a no creyentes. En dicho nivel podrían participar todos los historiadores. Las reglas de juego limitarían la naturaleza de los principios, teorías, métodos, técnicas y temas de estudio. Sin embargo, el debate anterior no impediría el trabajo historiográfico objetivamente válido en otros niveles. Conforme se particularizara, habría verdades históricas correspondientes a cada una de las confesiones o a las distintas formas de carencia de credo.

Tomando en cuenta esta estructura jerarquizada, los objetos de estudio —entre ellos una religión, pongamos por caso el cristianismo— podrían ser enfocados desde los distintos niveles de verdad histórica, de la cúspide a la base. Uno sería el válido para analizar el cristianismo desde una perspectiva laica, en el nivel más próximo al cientificismo histórico; pero esto no cerraría el camino a los cristia-

nos que buscaran su particular verdad histórica, una verdad que para ellos fuese más plena, más rica en elementos, más vinculada a sus necesidades sociales, más ceñida a sus parámetros. La podrían buscar en el nivel de particularidad en que se aceptaran hechos providenciales.

Cada uno en su propio nivel, los creyentes de las diversas confesiones —y los no creyentes— podrían contar con su objetividad y con su legitimidad históricas. El discurso de los laicos —tanto creyentes como no creyentes, en cuanto laicos— podría referirse al surgimiento y las características del providencialismo; pero en su nivel no podrían juzgar la preternaturalidad de los hechos históricos; no sería materia de su competencia. Correlativamente, la verdad de los creyentes, en cuanto tales, no podría imponerse en un nivel de generalidad superior al de su propio nivel de objetividad.

Nada invento. La compleja gradualidad es un hecho cotidiano en el ejercicio de la historiografía. Sólo que no se reconoce; sólo que no existen reglas claras en la validación particularizada de la historia. Por el contrario, se pretende ocupar la cúspide de la verdad por razones de hegemonía. Hoy existe una comunidad mundial, globalizada. Es tiempo de incluir las voces de todos los actores.

7. LA HISTORIA Y LA ACCIÓN

Concluyo esta etapa del diálogo en la confluencia de las infinitas corrientes que hacen de los hombres seres complejos y diversos; pero también forma parte de la conjunción la corriente que impera y que pretende nuestro simplismo, nuestra atomización y homogeneización. De convertirnos en lo que el gran capital pretende, no podremos asimilar la realidad cambiante y nuestras vidas perderán raíz y sentido. Conformaríamos la sociedad banal, dócil, convencida de que todo esfuerzo por transformar el mundo es estéril. Una sociedad así pondría en riesgo a la humanidad entera.

La transformación es vital. El gran capital no puede modificar sus paradigmas. Su destino es simple: gana —a toda costa— o perece. La ganancia de la gran empresa conduce a la necesaria destrucción de los recursos naturales, a la pobreza de la mayoría de la población mundial, a la imposición hegemónica y a las guerras que siegan miles de vidas inocentes. El gran capital carece de alternativa. La verdadera alternativa corresponde a la humanidad lesionada.

La alternativa exige una acción eficaz, adecuada a las rápidas transformaciones del presente. Esta guía debe ser una teoría cohesiva. La historia y la filosofía de la historia, como otros campos intelectuales,

pueden contribuir en la elaboración de esta teoría. Una de las funciones compartidas es evaluar la importancia de la cultura profunda y compleja en la existencia humana. Otra, participar en la difícil construcción de la estructura necesaria para que la diversidad cultural integre una cultura mundial. La globalidad hace posible esta integración. Será la cultura en la que cada una de sus culturas componentes sea autónoma y pueda participar desde una posición justa y digna. La solución no se encontrará en el simplismo relativista, sino en la integración de la estructura que en forma lógica permita las articulaciones de sus componentes. En cada nivel y sector privarán los valores particulares, válidos y funcionales en sus campos axiológicos.

El establecimiento de la compleja articulación es una tarea colosal; pero los artífices pueden ser numerosos. Hay experiencia previa. En buena parte, la globalización universalizante de la historia fue iniciada hace cinco siglos, sólo que sus valores han sido hasta ahora los de las hegemonías. Es tiempo de cambiar los valores de la unificación.

Uno de los retos más difíciles será el de la determinación del sentido de la historia global. El sentido dependerá de los fines perseguidos. El sentido no podrá ser sino ético, pues los caminos posibles de interpretación se abren en razón a los intereses y beneficio de toda la población mundial.

El sentido global de la historia tendrá que corresponder a la cúspide que se aproxima a la gran neutralidad de la ciencia. ¿Pueden ser enlazadas ciencia y ética? Hasta ahora se ha pugnado por la independencia de la ciencia frente a la determinación ética; pero una parte considerable de las razones esgrimidas estriba en la necesidad de separar el ejercicio científico de los particularismos éticos desviantes. A partir de la formulación de valores verdaderamente universales —aunque limitados— puede intentarse la construcción de una pirámide ética, resultado no de promedios o de simples consensos, sino de la articulación armónica de los sistemas éticos particulares, enfocados todos a la disolución de los apremios mundiales del presente histórico.

Los fines últimos de la ética global deben ser comprendidos en su propia dimensión histórica, dependientes de los requerimientos superiores presentes en la población mundial. Hoy por hoy, la necesidad básica es la supervivencia frente a las masivas agresiones de un capitalismo salvaje con monstruoso poder económico, político, bélico y cultural. La humanidad debe liberarse de esta peligrosa imposición que llega hasta los más recónditos lugares del planeta, una imposición que afecta a todas las esferas de acción humana y que pone en riesgo a la especie.

¿Cuándo actuar? Llevamos considerable retraso.

ÍNDICE ANALÍTICO

ÍNDICE DE NOMBRES

NOTA BIOGRÁFICA DE AUTORES

María Teresa Cabré Castellví (1947) es especialista en Lingüística y profesora en el Institut Universitari de Lingüística Aplicada (Universitat Pompeu Fabra). Entre sus publicaciones más importantes cabe destacar: *La terminologia. La teoria, els mètodes, les aplicacions* (1992) (versión esp. adaptada, 1993; versión fr. adaptada, 1998); *A l'entorn de la paraula. Qüestions de lexicologia*, I. *Lexicologia general*; II. *Lexicologia catalana* (1994); *La terminología. Representación y comunicación. Una teoría de base comunicativa y otros artículos* (1999), además de diversos artículos en publicaciones de su especialidad.

Magí Cadevall Soler (Terrasa, 1937). Licenciado y doctorado en Filosofía por la Universidad de Barcelona, es profesor de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Barcelona. Ha publicado *La estructura de la teoría de la evolución* y diversos artículos de filosofía de la ciencia, especialmente en el campo de la Filosofía de la biología.

Mario Casanueva López (México, D.F., 1958), biólogo de formación, es profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana (Iztapalapa). Especialista en Historia y Filosofía de las teorías genéticas, actualmente se dedica a la investigación en el campo de la dinámica científica. Su libro *Mendeliana* (2003) incluye la reconstrucción de tres redes teóricas con más de cuarenta especializaciones de las genéticas tempranas.

Antoni Domènech (Barcelona, 1952). Estudió Filosofía y Derecho en la Universidad de Barcelona y Filosofía y Teoría social en la Universidad Goethe de Fráncfort y en el Instituto de Filosofía de la Universidad Libre de Berlín. Catedrático de Filosofía de las ciencias sociales y morales en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Barcelona, ha sido profesor invitado en el Centro para el Análisis económico-social de la École des Ponts et Chausées de París (1990-1991) y en el Instituto de filosofía y ciencias del espíritu de la Philips-Universität de Marburgo (2003-2004). Conferenciante invitado en numerosas universidades europeas e iberoamericanas, es autor de muchos tra-

bajos en diversas revistas especializadas, y ha publicado los libros *De la ética a la política. De la razón erótica a la razón inerte* (1989) y *El eclipse de la fraternidad. Una revisión republicana de la tradición socialista* (2004).

Anna Estany Profitós (Balaguer, 1948) es doctora en Filosofía por la Universidad de Barcelona y Master of Arts por la Universidad de Indiana. Actualmente es catedrática de Filosofía de la ciencia en el Departamento de Filosofía de la Universidad Autónoma de Barcelona y miembro del Centro de Estudios de Historia de las Ciencias en esta misma Universidad. Ha trabajado en el análisis filosófico de casos de Historia de la ciencia y de las relaciones entre ciencia y tecnología. Entre sus publicaciones más destacadas hay que señalar los libros *Modelos de cambio científico* (1990); *Introducción a la Filosofía de la Ciencia* (1993); *Vida, muerte y resurrección de la conciencia. Análisis filosófico de las revoluciones científicas en la psicología contemporánea* (1999); *La fascinación por el saber* (2001) y *¿Eureka? El trasfondo de un descubrimiento sobre el cáncer y la genética molecular* (2003). Durante los últimos años, fruto de sus estancias en la Universidad de California (San Diego), se ha centrado en el enfoque cognitivo de la Filosofía de la ciencia, dedicando a esta cuestión artículos como «The theory-laden thesis of observation in the light of cognitive psychology» (2001) y «Ventajas epistémicas de la cognición socialmente distribuida» (2001).

José Ferreirós (Santiago de Compostela, 1964) es profesor de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Sevilla, formado en la Universidad Autónoma de Madrid y en la de California (Berkeley). Es autor de una monografía sobre el desarrollo de la teoría de conjuntos (*Labyrinth of Thought*, 1999) y de un buen número de artículos sobre Filosofía e Historia de las matemáticas y de la lógica, entre los que cabe destacar «The Motives Behind Cantor's Set Theory: Physical, biological and philosophical questions» (2004) y «The Road to Modern Logic – An interpretation» (2001). Asimismo ha realizado algunas incursiones en temas de Historia y Filosofía de la física, incluyendo cuestiones sobre experimentación.

Juan Carlos García-Bermejo Ochoa (Madrid, 1943), doctor en Filosofía y licenciado en Economía, es catedrático de Fundamentos del Análisis Económico (perfil Metodología General y Económica) en la Universidad Autónoma de Madrid. Ha sido decano de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de dicha Universidad. Dirigió durante tres años el Máster en Análisis y Gestión de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Carlos III de Madrid, donde también impartió clases en el Programa de Doctorado de Economía. Ha sido presidente de la Sociedad Iberoamericana de Metodología Económica desde su fundación hasta octubre de 2003. Actualmente dirige el Programa CITIUS de Iniciación Profesional en la Empresa para Titulados Universitarios y el Seminario Permanente de Metodología Económica del Departamento de Análisis Económico: Teoría e Historia Económica, de la Universidad Autónoma de Madrid. Ha publicado dos libros y numerosos artículos sobre metodología económica, que constituye su campo principal de estudio, así como

sobre filosofía de la ciencia y sobre su incidencia en la economía, sobre elección individual, elección social y economía de la ciencia.

Esteban Krotz (Barcelona, 1947). Estudió filosofía en Múnich y antropología social en Ciudad de México. Actualmente es profesor-investigador en la Unidad de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Yucatán (Mérida, México) y en el Departamento de Antropología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (Ciudad de México). Ha realizado investigación de campo entre población campesina e indígena mexicana. Sus líneas de trabajo son la historia y la filosofía de la antropología, la antropología política y jurídica y la filosofía intercultural. Es autor de *La otredad cultural entre utopía y ciencia* (^{2}2004) y editor de *El estudio de la cultura política en México* (1996) y *Antropología jurídica: perspectivas socioculturales en el estudio del derecho* (2002).

Alfredo López Austin (Ciudad Juárez, México, 1936). Doctor en Historia por la Universidad Nacional Autónoma de México. Especialista en historia y cultura mesoamericanas, ha estudiado en particular su cosmovisión, su religión y su mitología. Actualmente es profesor en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM e investigador emérito del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la misma Universidad. Es autor, entre otros libros, de *Hombre-dios: religión y política en el mundo náhuatl* (^{2}1989); *Cuerpo humano e ideología: las concepciones de los antiguos nahuas* (1980); *Los mitos del tlacuache: caminos de la mitología mesoamericana* (1990); *Tamoanchan y Tlalocan*; *Breve historia de la tradición religiosa mesoamericana* (1994) y, en co-autoría con Leonardo López Luján, *El pasado indígena*.

Mercè Lorente Casafont (1960) es especialista en Lingüística y profesora en el Institut Universitari de Lingüística Aplicada (Universitat Pompeu Fabra). Entre sus principales publicaciones cabe señalar: *Els diccionaris catalans: de 1940 a 1988* (con María Teresa Cabré) (1990); *Aspectes de lexicografia: representació i interpretació gramaticals* (1994, ^{3}2002), además de artículos y colaboraciones en publicaciones de su especialidad.

Javier de Lorenzo (Cáceres, 1939) es profesor de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Valladolid. Entre sus campos de interés se encuentran la Filosofía y la Historia de la matemática. De sus más de setenta ensayos y once libros publicados, hay que señalar *Introducción al estilo matemático* (1971); *La filosofía de la matemática de Poincaré* (1974); *La matemática y el problema de su historia* (1977) y *Filosofías de la matemática fin de siglo* XX (2000).

Carlos Lozares Colina (1940, Pangusión, Burgos), es profesor de Sociología, Métodos y Técnicas de Investigación Social en el Departament de Sociología de la Universitat Autònoma de Barcelona. Es licenciado en Sociología por la Universidad de Ginebra y doctor en Sociología; es además licenciado en Ciencias Físicas y fue becario de la Junta de Energía Nuclear de Madrid y profesor titular en excedencia de física de bachillerato. Ha obtenido diferentes becas de estancia en el extranjero. Entre las materias objeto de su dedicación y

publicaciones están el análisis de datos, metodología, diseño, gestión y análisis de grandes encuestas, muestreos estratificados multivariados, modelos matemáticos en sociología; la formación y el empleo en la empresa, el tiempo social, tiempo productivo y reproductivo y vida cotidiana; las redes sociales, capital reticular y social, redes en la empresa; el análisis del discurso reticular, proposicional y argumentativo; y, más recientemente, temáticas e investigaciones como el análisis etnográfico y de observación visual e imagen; la teoría de la actividad y conocimiento situado, conocimiento socialmente distribuido; y simulación y complejidad social.

Ramón Margalef (Barcelona, 1919-2004), ecólogo. En 1949 alcanzó la licenciatura y en 1952 se doctoró en ciencias naturales. En la Universidad de Barcelona pasó en 1967 a ocupar la cátedra de Ecología, la primera que se cubría con esta disciplina. Publicó más de trescientos artículos y una docena de libros entre los que destacan: *Los organismos indicadores en limnología* (1955); *Comunidades naturales* (1962); *Perspectives in Ecological Theory* (1968); *Ecología* (1974); *La biosfera entre la termodinámica y el juego* (1980) y *Limnología* (1983). Miembro de la Academia de las Ciencias y las Artes de Barcelona (1957), en 1980 el Instituto Bedford de Oceanografía de Halifax (Canadá) le concedió el primer premio Huntsman de Investigaciones en Ciencias Marítimas, galardón al que se denomina «el Nobel del Mar», y en 1984 recibió el premio Nacional Ramón y Cajal. No cabe duda de que Ramón Margalef fue un punto de referencia para todos los ecólogos españoles; prueba de ello es el reconocimiento internacional de que ha sido objeto su trabajo.

Diego Méndez Granados (México, D.F., 1959), biólogo de formación, trabaja en cuestiones relativas a la representación y el cambio conceptual en las ciencias de la vida. Actualmente cursa el doctorado en Filosofía de la ciencia en la Universidad Autónoma Metropolitana (Iztapalapa), y su investigación versa sobre el análisis de las estructuras inferenciales de las teorías de la herencia biológica propuestas a finales del siglo XIX y principios del XX.

Feggy Ostrosky-Solís es profesora de tiempo completo y directora del Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha realizado investigaciones sobre las bases psicofisiológicas y neuropsicológicas del lenguaje oral y escrito, la memoria, la violencia y los cambios asociados al envejecimiento normal y patológico. Es autora de doce libros y de más de 160 artículos científicos, entre los que hay que mencionar: «El hemisferio cerebral derecho: un enfoque neuropsicológico» (1986); «El lenguaje oral y escrito: investigación en Latinoamérica» (1990); «Evaluación neuropsicológica breve en español. NEUROPSI» (1999); «Daño cerebral: un enfoque neuropsicológico (2000) y «Can literacy change your brain anatomy?» (2004).

Irina Podgorny (Quilmes, Argentina, 1963). Antropóloga y doctora en Ciencias Naturales (Universidad Nacional de La Plata, Argentina). Investigadora del CONICET en el Archivo Histórico del Museo de La Plata y profesora de Historia de la Ciencia en la Maestría «Ciencia, Tecnología y Sociedad» de la

Universidad de Quilmes. Directora de IES en Buenos Aires. Becaria de la Fundación Humboldt (2002-2003), acreedora de los Premios Estímulo de la Fundación Bunge y Born (2001) y Houssay de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación en el área de Historia y Antropología (Investigador Joven, 2003). Entre sus publicaciones se encuentran los libros: *Arqueología de la educación: textos, indicios, monumentos. La imagen del indio en el mundo escolar* (1999) y *El argentino despertar de las faunas y de las gentes prehistóricas. Coleccionistas, museos y estudiosos en la Argentina entre 1880 y 1910* (2000), así como diversos artículos en revistas especializadas.

Víctor Rodríguez (Córdoba, Argentina, 1949) es profesor titular de Epistemología de las ciencias naturales en la Facultad de Filosofía y Humanidades (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Dirige un equipo de investigación en esa Universidad sobre temas de filosofía de la ciencia. Ha realizado investigaciones de posdoctorado en el Center for Philosophy of Science (Universidad de Pittsburg). Ha sido investigador invitado en varias universidades americanas y europeas. Sus principales líneas de trabajo son la Filosofía de la física y la Filosofía de las matemáticas. Es autor de artículos y editor de libros de esa especialidad; actualmente es miembro del comité académico y asesor de varias revistas de filosofía y ciencia. Ha sido presidente de la Asociación Filosófica Argentina (AFRA). Es vicepresidente de la Asociación de Historia y Filosofía de la Ciencia del Cono Sur. También es asesor durante el período 2003/2007 de la International Association of History and Philosophy of Science/Division Logic, Methodology and Philosophy of Science.

Edna Suárez Díaz (Ciudad de México, 1963) estudió Biología en la Universidad Nacional Autónoma de México, donde también realizó sus estudios de posgrado en Historia y Filosofía de la ciencia. Ha realizado varias estancias de investigación en la Universidad de California (Irvine) y en la Universidad de Harvard. A partir de 1996 es profesor titular en la UNAM, donde actualmente desempeña el cargo de coordinadora del Departamento de Biología Evolutiva. Sus áreas de especialización son la Filosofía y la Historia de la biología, en especial de la evolución molecular, así como la Filosofía de la tecnología. Es autora de dos libros de texto y de más de quince artículos de investigación, entre los que destacan «The experimental roots of the Neutral Theory of Molecular Evolution» (1996) o «Satellite-DNA: a case study for the evolution of experimental techniques» (2001). Actualmente trabaja en una obra dedicada a temas de Filosofía de la ciencia y de la tecnología, y en una antología de ensayos en torno al tema de la representación en la ciencia.

Roberto Torretti (Santiago de Chile, 1930). Es profesor emerito de la Universidad de Puerto Rico y doctor *honoris causa* por la Universidad Autónoma de Barcelona. Ha publicado, entre otros, los siguientes libros: *Manuel Kant: estudio sobre los fundamentos de la filosofía critica* (^{3}2005); *Creative understanding. Philosophical reflections on physics* (1989); *El paraíso de Cantor: la tradición conjuntista en la filosofía matemática* (1998); *The philosophy of physics* (1999) y *Relatividad y espacio-tiempo* (2002).